



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
RECINTO UNIVERSITARIO SIMON BOLIVAR  
FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACION**

**Monografía:**

**Caracterización técnico-económica de los medidores inteligentes  
para la implementación como instrumentos de control y ahorro  
en el sector comercial de la ciudad de Estelí**

**MONOGRAFÍA PRESENTADA POR:**

**Br. Larry Ramón Zúniga Ruiz**

**MONOGRAFÍA PARA OPTAR AL TITULO DE  
INGENIERO ELECTRONICO**

**TUTOR**

**Ing. Héctor Guillen Navarrete**

**Managua, Nicaragua  
Marzo 2019.**

## DEDICATORIA

- Dedico el presente trabajo monográfico primero a **DIOS**, que es omnipotente y todopoderoso, dador de vida, sabiduría y fortaleza, inspirador de mis sueños e ideas, maestro por excelencia.
- A mis padres Lic. Máxima Alonsa Ruiz Martínez y el Lic. Juan Ramón Zúniga García, quienes han sido pilares indiscutibles de mi formación moral y espiritual, ejemplos paciencia y lucha por salir adelante.
- A mi hermano Juan Alejandro Zúniga Ruiz a quien trato de darle el mejor ejemplo posible y que aprenda que los sueños si son alcanzables.
- A toda mi familia en general que de alguna u otra manera han sabido aportar su granito de arena para apoyarme en mis estudios y culminar mis metas

## AGRADECIMIENTOS

- Ante todo, quisiera agradecer a **DIOS**, por habernos dado la vida, la fortaleza, salud, paciencia y sabiduría para hasta este momento.
- A mis Padres y familiares por todo el apoyo moral, espiritual y económico incondicional que me brindaron.
- A las siguientes personas y/o autoridades que hicieron posible y más fácil el camino para culminar con éxito este trabajo. El orden es irrelevante.
  - Ing. Héctor Reynaldo Guillen, Tutor.
  - Ing. Martin Omar Rocha Dávila
- A mis maestros de primaria, secundaria y la universidad que con su esfuerzo han inculcado y han sabido transferir sus conocimientos en mi persona. Sin olvidar también a todo ese ejército de autores de libros, folletos, manuscritos, y monografías excelentes en el cual me base la mayor parte del tiempo para realizar esta monografía.

# Índice General

## Capítulo I

1.1 Introducción.....	1
1.2 Perspectiva eléctrica en Estelí.....	4
1.3 Objetivos.....	5
1.3.1 Objetivo general.....	5
1.3.2 Objetivos específicos.....	5
1.4 Antecedentes.....	6
1.5 Justificación.....	8

## Capitulo II

2.1 Redes Eléctricas Convencionales.....	9
2.2 Fases hacia la red inteligente.....	11
- Centros de transformación.....	11
- Equipos de alta tensión.....	12
- Subestaciones.....	13
- Protección y automatización de la red.....	13
- Sistemas de información y telecomunicaciones.....	15
2.3 Smart Grid (Redes Eléctricas Inteligentes) .....	16
2.4 Contadores Inteligentes.....	22
2.4.1 Clasificación.....	22
2.4.2 Características de Medidores Inteligentes.....	25
2.4.3 Tipos de tecnologías para diferentes modelos.....	28
- ADE5169 (Analog Devices) .....	30
- AVR465 (Atmel) .....	31
- AS8268 (Austriamicro-sys) .....	31
- CS5463 (Cirrus Logic) .....	32
- MAXQ3183 (MAXIM) .....	34
- MCP3905 (Microchip) .....	35
- SA9904 (Sames) .....	35
- 71M6531F (Teridian) .....	36

2.4.4 Protocolo de telegestion.....	37
2.4.5 Protocolos para una Red Eléctrica Inteligente.....	39
- DLMS/COSEM: IEC 62056.....	39
- Meters and More.....	42

### **Capitulo III**

3.1 Características técnicas – económicas de una red AMI.....	46
3.2 Arquitectura de red de medidores inteligentes para Estelí.....	48
3.2.1 Sistema Central De Gestión de datos.....	49
- Beneficios del sistema Smart MDM.....	49
- Función y características del sistema.....	50
3.2.2 Concentrador de datos.....	52
- Dispositivos y accesorios para Concentradores Prime.....	58
3.2.3 Medidor eléctrico inteligente.....	62
- Aplicaciones.....	63
- Conexiones.....	66
- Dimensiones.....	67

### **Capitulo IV**

4.1 Diseño y alcances de una red AMI en el área comercial de Estelí.....	69
4.1.1 Generalidades.....	69
4.1.2 Tabla de negocios seleccionados.....	70
4.1.3 Ubicación geográfica.....	73
4.1.4 Recorrido de fibra óptica.....	75
4.1.5 Diseño esquemático de la Red General.....	76
4.1.6 Esquema de instalación.....	77
4.1.7 Diseños del plano de red PLC Concentrador – Medidor.....	79
4.2 Costos de Materiales.....	82
4.2.1 Materiales para instalación de tendido de fibra óptica.....	82
4.2.2 Materiales para instalación de Rack en central Disnorte	
Dissur para equipos de datos y energía.....	83

4.2.3 Materiales para instalación de concentradores y medidores inteligentes.....	83
4.3 Costo de Servicios.....	85
4.3.1 Servicios para instalación de tendido de fibra óptica.....	85
4.3.2 Servicios para instalación de Rack en central Disnorte Dissur para equipos de datos y energía.....	86
4.3.3 Servicios para instalación de concentradores y medidores inteligentes.....	87
4.4 Costos Totales.....	88
Conclusiones.....	89
Referencias bibliográficas.....	91

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b>	Evolución de la medición inteligente
<b>Figura 2</b>	Foto de Estelí vista en Google Maps
<b>Figura 3</b>	Red Eléctrica: de la generación al usuario final
<b>Figura 4</b>	Red Inteligente (Smart Grid)
<b>Figura 5</b>	Arquitectura tradicional cliente/servidor y asistida por pares
<b>Figura 6</b>	Tecnología, conexiones y aplicaciones en la red
<b>Figura 7</b>	Arquitectura ADE5169 (Analog Devices)
<b>Figura 8</b>	Arquitectura AS8268 (Austriamicro-sys)
<b>Figura 9</b>	Arquitectura CS5463 (Cirrus Logic)
<b>Figura 10</b>	Arquitectura MAXQ3183 (MAXIM)
<b>Figura 11</b>	Arquitectura MPC3905 (Microchip)
<b>Figura 12</b>	Arquitectura SA9904 (Sames)
<b>Figura 13</b>	Tecnologías adecuadas en cada puerto de comunicación
<b>Figura 14</b>	Arquitectura de contadores inteligentes.
<b>Figura 15</b>	Interfaz gráfica de un sistema MDM Cliente/Servidor
<b>Figura 16</b>	Comunicación entre el sistema Smart MDM y Concentrador datos
<b>Figura 17</b>	Concentrador de datos PLC1000-M
<b>Figura 18</b>	Dimensiones de Concentrador Circutor PLC1000-M
<b>Figura 19</b>	Conexiones de Concentrador Circutor PLC1000-M
<b>Figura 20</b>	Bornes de SGE-3G/GPRS
<b>Figura 21</b>	Ranura de sim card del SGE-3G/GPRS
<b>Figura 22</b>	Armario CMBT COMPACT PT para exteriores
<b>Figura 23</b>	Interconexión de Concentrador y sus dispositivos de control
<b>Figura 24</b>	Medidor CIRWATT B 200 RCP
<b>Figura 25</b>	Conexiones eléctricas internas del CIRWATT B 200 RCP
<b>Figura 26</b>	Dimensiones del CIRWATT B 200 RCP en mm
<b>Figura 27</b>	Arquitectura completa de un sistema AMI
<b>Figura 28</b>	Zona central de Estelí vista desde Google Maps

<b>Figura 29</b>	Ubicación de clientes visto desde Google Earth I
<b>Figura 30</b>	Ubicación de clientes visto desde Google Earth II
<b>Figura 31</b>	Ubicación de clientes visto desde Google Earth III
<b>Figura 32</b>	Recorrido de Fibra Óptica Vista desde Google Earth
<b>Figura 33</b>	Diseño esquemático de red en Microsoft Visio
<b>Figura 34</b>	Interconexión de concentrador con red de contadores mediante PLC y sistema smart
<b>Figura 35</b>	Comunicación por Radio Frecuencia (3G/GPRS)
<b>Figura 36</b>	Conexiones de Concentrador I y II
<b>Figura 37</b>	Conexiones de Concentrador III y IV
<b>Figura 38</b>	Conexiones de Concentrador V, VI y VII
<b>Figura 39</b>	Conexiones de Concentrador VIII, IX y X



## Índice de tablas

<b>Tabla 1</b>	Características de Red Eléctrica y Smart Grid I
<b>Tabla 2</b>	Características de Red Eléctrica y Smart Grid II
<b>Tabla 3</b>	Características comparativas de medidores eléctricos inteligentes I
<b>Tabla 4</b>	Características comparativas de medidores eléctricos inteligentes II
<b>Tabla 5</b>	Fabricantes de Contadores Inteligentes a nivel mundial I
<b>Tabla 6</b>	Fabricantes de Contadores Inteligentes a nivel mundial II
<b>Tabla 7</b>	Características del Concentrador de datos PLC1000-M
<b>Tabla 8</b>	Relación de Bornes Modems SGE-3G/GPRS
<b>Tabla 9</b>	Características I del Medidor CIRWATT B 200 RCP
<b>Tabla 10</b>	Características II del Medidor CIRWATT B 200 RCP
<b>Tabla 11</b>	Negocios Seleccionados I
<b>Tabla 12</b>	Negocios Seleccionados II
<b>Tabla 13</b>	Negocios Seleccionados III
<b>Tabla 14</b>	Materiales para instalación Tendido Fibra Óptica Aérea
<b>Tabla 15</b>	Materiales para instalación de RACK
<b>Tabla 16</b>	Materiales para instalación de concentradores y medidores
<b>Tabla 17</b>	Servicios de instalación tendido fibra óptica aérea
<b>Tabla 18</b>	Servicios para instalación de RACK
<b>Tabla 19</b>	Servicios de instalación Concentradores y medidores
<b>Tabla 20</b>	Costo Total de Materiales y Servicios

## Abreviaturas y Acrónimos

Este apartado recoge las abreviaturas y acrónimos utilizados a lo largo del documento.

<b>AMI</b>	Advanced Metering Infrastructure
<b>AMM</b>	Automated Meter Management
<b>AMR</b>	Automatic Meter Reading
<b>APDU</b>	Application Protocol Data Unit
<b>BPL</b>	Broadband over Power Line
<b>BT</b>	Baja Tensión
<b>COSEM</b>	Companion Specification for Energy Metering
<b>DC</b>	Concentrador de datos
<b>DLMS</b>	Device Language Message specification
<b>DSP</b>	Digital Signal Processor
<b>FAN</b>	Field Area Network
<b>GPRS</b>	General Packet Radio Service
<b>GSM</b>	Global System Mobile Communications
<b>HAN</b>	Home Area Network
<b>HSDPA</b>	High Speed Downlink Packet Access
<b>ICP</b>	Interruptor de control de potencia
<b>IEC</b>	International Electrotechnical Commission's
<b>IEDs</b>	Intelligent Electronic Devices
<b>Irms</b>	Intensity Root Mean Square
<b>kVAh</b>	Kilo Volt Ampere Hour
<b>kWh</b>	Kilo Watt Hour
<b>LAN</b>	Local Area Network
<b>LCD's</b>	Liquid Crystal Display
<b>MDM</b>	Master Data Management
<b>NB-PLC</b>	Narrow Band– Power Line Carrier
<b>OSI</b>	Open System Interconnection
<b>PLC</b>	Power Line Communication
<b>PWM</b>	Pulse Width Modulation
<b>REE</b>	Red Eléctrica Española
<b>RTC</b>	Real Time Clock
<b>ToU</b>	Time of Use
<b>UART</b>	Universal Asynchronous Receiver-Transmitter
<b>UHV</b>	Ultra high voltage
<b>Vrms</b>	Volt Root Mean Square
<b>WAMS</b>	Wide Area Measurement System
<b>WAN</b>	Wide Area Network

## Capítulo I

### 1.1 Introducción

El suministro de energía eléctrica a cada cliente es un proceso algo amplio, en el cual mediante un conjunto de procesos transforman la energía ya sea termoeléctrica o térmica (centrales termoeléctricas), centrales hidroeléctricas, centrales geo-térmica, energía nuclear, centrales eólicas, centrales solares, centrales turbo gas, centrales de congregación, centrales de ciclo combinado en electricidad para ser transportadas a sus respectivos domicilios y negocios particulares. Partiendo de una central, la electricidad es transportada mediante cables de alta tensión hasta llegar a las estaciones de distribución, donde se reduce la tensión mediante la utilización de transformadores hasta unos niveles adecuados para llegar a los particulares.

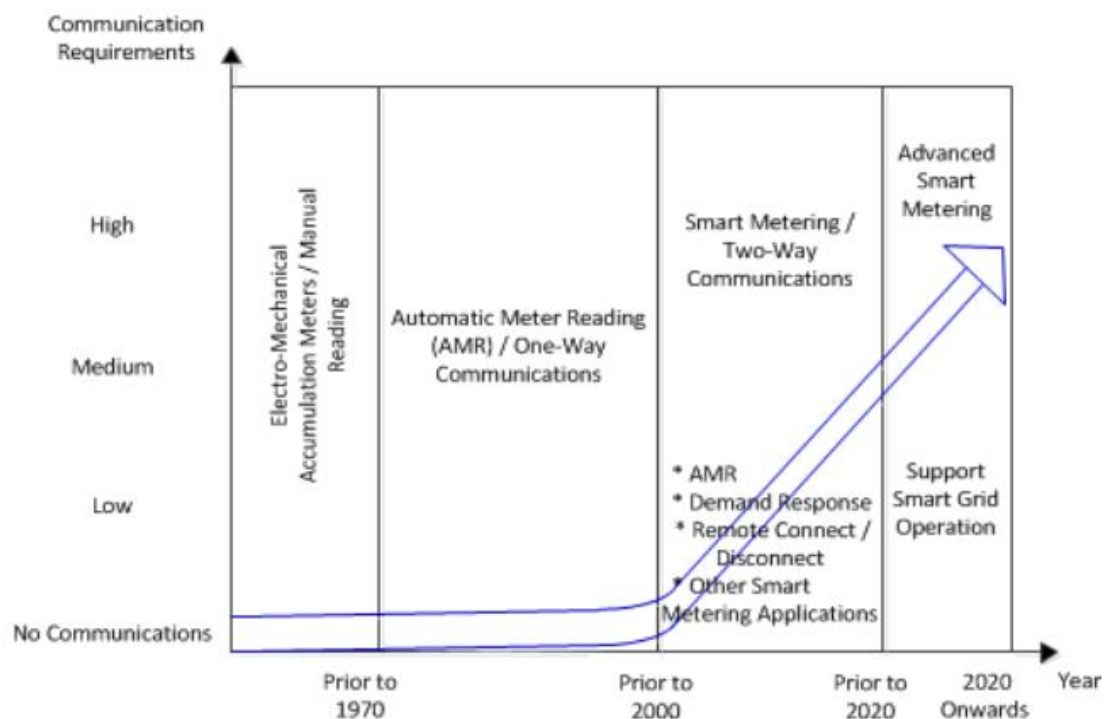
Los primeros datos de la existencia de medidores eléctricos son de finales del S XIX, aproximadamente en el periodo 1880-1900. Elihu Thomson fue el inventor del vatímetro registrador en 1889, y este fue el primero de los contadores de energía o vatios-hora.

Todos sabemos que en nuestras viviendas tenemos un medidor de electricidad donde se registra lo que consumimos diariamente, la energía que consumimos con el uso de los aparatos eléctricos. Los requerimientos de estos medidores son simples, ya que la mayoría de los consumidores demandamos bajos niveles de potencia, la interacción entre los clientes y la empresa distribuidora trabajan con un circuito de una sola vía lo que dificulta la respuesta a incrementos de la demanda energética así como reparación de fallos en la red etc.

Actualmente las redes inteligentes (Smart Grid) introducen el concepto de dialogo bidireccional donde la energía y la información puede ser intercambiada entre la empresa distribuidora y sus clientes (*SMART GRID, (ENEL, 2014)*)

Es el desarrollo entre red de comunicaciones, medidores inteligentes, sistemas automáticos, y otras herramientas tecnológicas que trabajan juntas para que la distribución eléctrica sea eficiente, confiable, segura y amigable con el medio ambiente (*SmartGrid.gov, 2015*).

Estos medidores registran diariamente la información sobre su consumo de energía. Luego se envía a distancia al centro de información computarizada para operaciones, facturación y servicio al cliente.



*Figura 1.* Evolución de la medición inteligente. Derechos de autor 2015 por Interoperabilidad entre medidores inteligentes de energía eléctrica residencial. Reimpreso con permiso.

Recientemente las compañías eléctricas están optando por cambiar los medidores convencionales por los nuevos Medidores Inteligentes (Smart meter).

El interés que ha despertado a nivel internacional la utilización de medidores inteligentes ha ido en constante crecimiento durante los últimos años. Muestra de ello es la gran cantidad de experiencias que se han venido desarrollando

durante la última década en varios países de la Unión Europea, tanto a nivel experimental como a gran escala. Lo cierto es que a su uso se le han atribuido innumerables ventajas, desde variados puntos de vista.

Desde el año 2000, el desarrollo en medición de energía Eléctrica ha evolucionado a nivel mundial, el despliegue en infraestructura de la red inteligente de energía eléctrica aumenta significativamente.

El continente que lidera la innovación tecnológica en medición de energía eléctrica es Europa, las políticas sobre Smart Grid en la unión europea deben alinearse de acuerdo a la Directiva del Parlamento Europeo la misma que fomenta y promueve el uso de energías procedentes de fuentes renovables. La medición inteligente presenta gran penetración en Norte América, Europa, Asia, Australia. Italia es el país a nivel mundial que lidera la implementación de medidores inteligentes.

Gracias a estas nuevas tecnologías empresas del sector comercial de la ciudad de Estelí podrán de manera más conveniente elaborar una planeación de sus operaciones con una mayor probabilidad de éxito y más apegada a la realidad del consumo real de sus operaciones de negocios, ya que le será posible controlar en todo momento el uso y consumo real de energía eléctrica de su establecimientos, con esto podrá establecer ahorros en diversas actividades que requieren de energía con una medida más precisa.

Mi investigación está dirigida a determinar en qué medida podrán estos medidores inteligentes ajustar la planeación operativa del comercio de la ciudad de Estelí, ya que se observa que muchas empresas de servicios y comerciales no tienen más remedio que cerrar operaciones debido a los altísimos costos en la energía eléctrica, situación que no pueden controlar por falta de un instrumento que les facilite esto.

## 1.2 Perspectiva eléctrica en Estelí

Los comerciantes del servicio de energía eléctrica en Estelí se encuentran sumamente indignados (molestos, incomodos) debido a que los recibos de cobro correspondientes a los últimos meses les llegaron incrementados. En lo que va del presente año, el servicio de energía eléctrica se ha desmejorado totalmente en Estelí. Las interrupciones del fluido son constantes, lo mismo que las sobrecargas de voltajes, las que en distintas ocasiones han destruido electrodomésticos, que han sido reclamados por los usuarios afectados.

Cuando se registran tales afectaciones, los usuarios prefieren no gastar tiempo, ni colmar su paciencia en la empresa Unión Fenosa. Un grupo de pobladores del barrio Alfredo Lazo, así como de otros sectores de esta ciudad, dijeron que en días recientes sufrieron pérdidas en varios electrodomésticos, por ello, acudieron a la empresa Unión Fenosa dos veces, con interés de exponer el reclamo, pero fue infructuoso, pues no los atendieron.



Figura 2. Foto de Estelí vista en Google Maps. Elaboración propia

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

1. Realizar la caracterización técnico-económica para el funcionamiento de un sistema de medidores inteligentes (AMI) en el área comercial de la ciudad de Estelí.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

1. Dar a conocer las características técnicas que ofrecen los medidores inteligentes.
2. Comparar un medidor inteligente más eficiente para el sector comercial.
3. Dar a conocer la infraestructura y arquitectura de la red, así como los equipos o medios de transmisión por la cual llevan a cabo su funcionamiento.
4. Desarrollar un análisis funcional de como los medidores inteligentes (AMI) pueden detectar y reportar a la empresa distribuidora, pérdidas técnicas, robos energéticos, usabilidad de la red eléctrica y realizar lecturas, cortes y reconexiones desde una conexión remota de un ordenador.
5. Proponer un diseño a pequeña escala de medidores inteligentes en el área comercial de la ciudad de Estelí.

## 1.4 Antecedentes

El continente que lidera la innovación tecnológica en medición de energía eléctrica es Europa, las políticas sobre Smart Grid en la unión europea deben alinearse de acuerdo a la Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo del 23 de abril de 2009

La medición inteligente presenta gran penetración en Norte América, Europa, Asia, Australia. Italia es el país a nivel mundial que lidera la implementación de medidores inteligentes. En Nicaragua con el fin de acabar con el fraude energético, la empresa distribuidora de energía inicio en febrero del año 2014 un proyecto piloto con medidores inteligentes de una empresa japonesa. El proyecto fue ejecutado en el barrio Los Pescadores y Acahualinca de Managua, donde se instalaron unos trescientos de estos equipos. Recientemente, las empresas distribuidoras de energía Disnorte-Dissur iniciaron con la campaña antifraude eléctrico, para reducir las pérdidas anuales que registran unos cincuenta millones de dólares. La empresa logró reducir las pérdidas en el barrio Los Pescadores de un 67 por ciento a un 2.36 por ciento, mientras que en Acahualinca de un 47 a un 1.38 por ciento.

Los aparatos son medidores bicuerpo y fueron provistos por la empresa japonesa EDMI, los que, entre otras características, tienen una pantalla de cristal líquido y utilizan señales GPRS o GSM para comunicarse entre sí. (Vásquez Vladimir, 2014).

De manera adicional el Ing. Jorge Ajax Montenegro, informó que DISNORTE-DISSUR invierte 17.8 millones de córdobas en la instalación de 1950 seccionalizadores, los cuales sustituyen a los equipos que comúnmente las personas conocen como chuchillas. Estos nuevos equipos están dotados con sistemas electrónicos que les permiten discriminar. Actualmente las protecciones de derivaciones conectadas a la red troncal de los circuitos de distribución son protegidas con fusibles de expulsión, que se funden cuando ocurre una falla



provocada por tormentas, contactos de línea con ramas por fuertes vientos, caídas de ramas sobre la red, entre otros, en estos casos se requiere que una brigada acuda hasta el lugar para restablecer el servicio: *“Esto significa que al detectar una falla menor, como por ejemplo cuando una rama roza la red, no va a operar automáticamente cortando la energía a como lo hacen los fusibles tradicionales instalados hoy día, ya que este equipo censa las corrientes de fallas, eventualmente detectará que una falla es permanente y será entonces cuando ocurrirá una interrupción de la corriente eléctrica”*, explicó el Ing. En una entrevista brindada al periódico La Prensa, publicada el 19 de abril del año 2014

Lo anterior encamina al sistema de distribución de nuestra empresa hacia un sistema moderno, con tecnologías que se utilizan en países desarrollados y por medio de la cual se garantizarán altos estándares de calidad en la continuidad del servicio.( DISNORTE-DISSUR automatiza sus redes de distribución eléctrica (2017). Recuperado de <http://www.disnorte-dissur.com.ni/sala-prensa/item/217-disnorte-dissur-automatiza-sus-redes-de-distribucion-electrica.html>)

## 1.5 Justificación

En Nicaragua aún se utilizan medidores de energía convencionales por lo cual toda la recolección de datos se hace de manera manual, es decir la información que nos brinda cada medidor es tomada por un empleador de la empresa suministradora de energía el cual a su vez transfiere estos datos a una segunda persona para ser archivados en un computador y luego ser analizada, también la detección de fallas y robos es otro motivo que genera pérdidas tanto de dinero y tiempo.

La nueva tendencia en varios países del mundo de los sistemas de medición de energía es la incorporación de tecnologías de medición inteligente, Sin embargo, los beneficios potenciales que ofrece la medición inteligente pueden ser sub-utilizados por razones sociales que tienen que ver con la calidad de vida, el nivel educativo y el grado de conciencia que tenga un usuario por dar un uso eficiente a la energía.

Mediante la implementación de medidores inteligentes en el sector comercial de Estelí cada abonado puede estar al tanto de información tal como la energía consumida, parámetros de voltaje y corriente, factor de potencia, frecuencia entre otros datos de interés. Y más aún si esto representa el cierre de sus negocios.

También se logrará que la detección y notificación de fallas sea de manera automática y a tiempo real aumentando así el tiempo de respuesta de la red y mejora del control eléctrico ante cualquier situación o percance. El estudio y realización de este proyecto duraría aproximadamente 1 1/2 año, El precio estimado dependería de cuantos medidores inteligentes serian instalados en el sector comercial, las pérdidas para la empresa energética disminuirían en más de un 50%, este proyecto beneficiaría directamente a todos los usuarios comerciantes de la ciudad de Estelí.

## Capítulo II

### 2.1 Redes Eléctricas Convencionales

En el año 1882 el físico, matemático, inventor e ingeniero Nikola Tesla, diseñó y construyó el primer motor de inducción de corriente alterna. Posteriormente el físico William Stanley, reutilizó, en 1885, el principio de inducción para transferir la corriente alterna entre dos circuitos eléctricamente aislados. La idea central fue la de enrollar un par de bobinas en una base de hierro común, denominada bobina de inducción. De este modo se obtuvo lo que sería el precursor del actual transformador. La primera transmisión interurbana de la corriente alterna ocurrió en 1891, cerca de Telluride, Colorado, a la que siguió algunos meses más tarde otra de Lauffen a Frankfurt en Alemania. *(Corriente Alterna, 2000)*

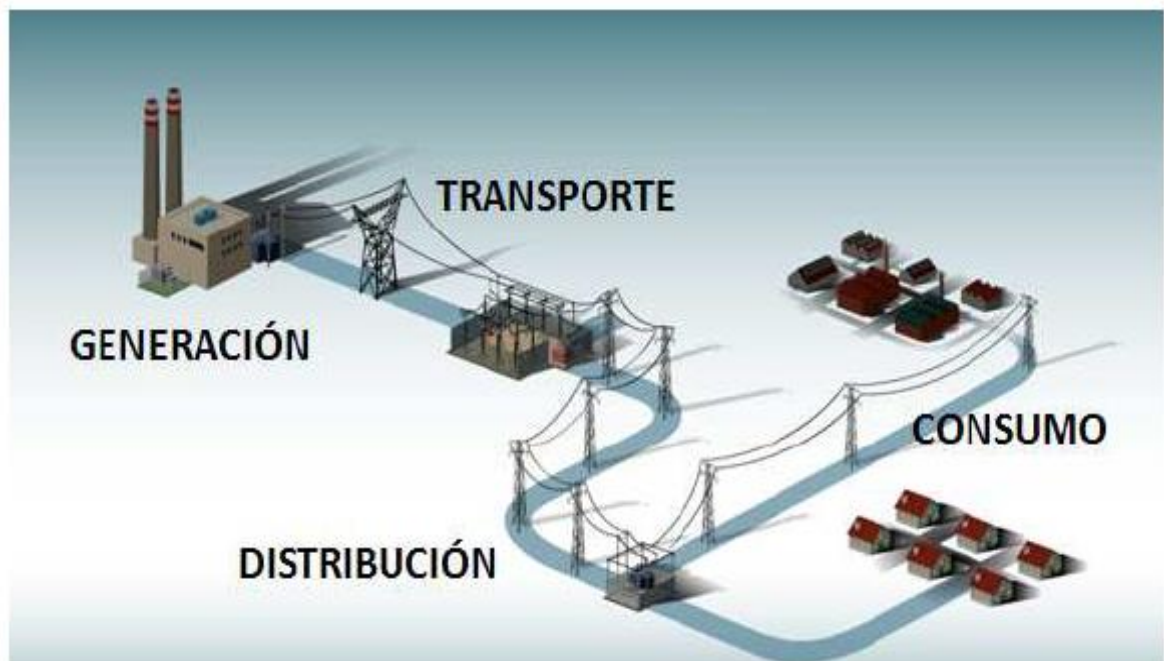
De una forma generalista, se entiende por red eléctrica el conjunto de líneas, transformadores e infraestructuras que llevan la energía eléctrica desde los centros de producción hasta todos los consumidores (ver Fig. 3 Red Eléctrica).

Estas redes son las encargadas de transportar y distribuir la electricidad generada en las centrales (ya sean nucleares, hidráulicas, de carbón o las más recientes de ciclo combinado o renovables) hasta los puntos de consumo final. Sin embargo, las redes actuales están diseñadas y en funcionamiento desde la mitad del siglo pasado y deben de ser rediseñadas para convertirse en redes más efectivas y robustas, de forma que puedan soportar las necesidades futuras (tanto desde el punto de vista de los consumidores como de las características de las centrales basadas en energías alternativas). En todas las redes se pierde parte de la energía en el transporte y la distribución.

La actividad de transporte consiste en la conducción de la energía eléctrica a muy alta tensión (ya que se aseguran unas pérdidas de red menores) y se

considera cuando la tensión es igual o superior a 220kV (generalmente 400kV y/o 220kV), además de las interconexiones con otros países. Por otra parte, la actividad de distribución consiste en la transmisión o transporte de energía eléctrica (tensiones de 132kV e inferiores) desde las redes de transporte hasta los puntos de consumo. A medida que nos acercamos a los puntos finales de consumo es preciso conseguir valores de tensión dentro de la baja tensión (normalmente tensiones que no superan los 1000V) operación que se realiza en los centros de transformación. Entre la instalación final del usuario y los centros de transformación existe una infraestructura, denominada red de enlace, y que permite la interconexión y protección de las instalaciones.

Todas estas transformaciones están soportadas por diferentes elementos (Transformadores, protecciones, seccionadores, elementos de control y mando, equipos de medida, etc.), elementos que al igual que el resto de la infraestructura deben soportar las necesidades futuras.



*Figura 3.* Red Eléctrica: de la generación al usuario final. Derechos de autor (s,f) por Redes Eléctricas. Reimpreso con permiso.

## 2.2 Fases hacia la red inteligente

El desarrollo e implantación de las Smart Grids será algo progresivo y tendrá una fuerte dependencia con los avances tecnológicos que hoy en día se están llevando a cabo. Aunque son numerosos los campos en los que se trabaja actualmente, a continuación, se describe en alguno de ellos:

### - Centros de Transformación

Generalmente los transformadores son dispositivos muy fiables, con una vida útil entre 20 y 35 años, con un mínimo de 25 años a una temperatura de funcionamiento de 65-95°C. Sin embargo, en la práctica, la vida de uno de estos transformadores puede llegar a los 60 años con un mantenimiento apropiado.

Actualmente se está trabajando en varios campos relativos a estos elementos de la red eléctrica. La prevención de incidentes de funcionamiento, es un asunto de vital importancia, en el que se están desarrollando técnicas para prevenir la ruptura de los tanques de aceite. Además, desde el punto de vista de diseño de nuevos transformadores, se están siguiendo nuevas líneas para optimizar la seguridad de funcionamiento.

Otro tema que se aborda en relación a estos elementos, es el del diagnóstico y optimización de su vida útil. En este campo se está trabajando en la realización de modelos de predicción y simulaciones de forma que se pueda conocer el comportamiento de los transformadores, pudiendo anticipar metodologías de mantenimiento adecuadas.

Por otro lado, se tiende a instalar sistemas de monitorización para la detección de anomalías de funcionamiento, o para la captura de datos que facilite posteriormente la elaboración del modelo más eficaz de funcionamiento. (*Tecnologías de la Información y Telecomunicaciones, 2011*).

- **Equipos de alta tensión.**

La creciente demanda energética está obligando a la red eléctrica a implementar nuevos métodos en la parte de generación y transporte de alta tensión. Así surgen temas como la generación de Ultra Alta Tensión (UHV), conmutación de líneas, y optimización de la infraestructura existente para adaptarla a las nuevas necesidades de la sociedad.

La problemática hoy en día a la hora de generar UHV pasa por la prevención ante tormentas, tomando los pararrayos un papel de vital importancia en las instalaciones correspondientes. Además, la alta temperatura de funcionamiento, así como la cantidad de energía necesaria para gestionar el proceso de forma óptima, dificultan la generación de UHV. Para solventar estos problemas, se encuentran abiertas varias líneas de investigación que pretenden optimizar todo este proceso. La llegada de los nuevos seccionadores de líneas, con unas características de conmutación optimizadas, pueden combinarse con modernos controladores electrónicos, para conseguir operaciones óptimas de conmutación, de forma que las conmutaciones de sobretensiones o anomalías en la red que afectan la calidad eléctrica, podrían eliminarse.

La optimización y ampliación de la infraestructura existente requiere métodos de monitorización y visualización de los parámetros críticos. Los sensores de tensión y de corriente ópticos proporcionan un excelente aislante en entornos de alta tensión, permitiendo medir altos voltajes y corrientes de una forma no intrusiva. Estas características, junto a su tamaño compacto y su amplio ancho de banda, hacen que estos dispositivos resulten perfectos para realizar estas medidas. (*Tecnologías de la Información y Telecomunicaciones. 2011*).

## **- Subestaciones**

La creciente población, urbanización e industrialización en conjunto con la generación de energía remota, especialmente en el caso de energías renovables está incrementando la necesidad de transmisión con un mayor volumen de energía a grandes distancias.

Esto sitúa a las subestaciones como una pieza clave en la entrega y recogida energética. Dada la creciente densidad de población en las ciudades, cada vez es más complicado encontrar un lugar adecuado para las subestaciones eléctricas. Esta tarea requiere de una serie de especificaciones y estudios que aseguren un correcto funcionamiento de la red eléctrica.

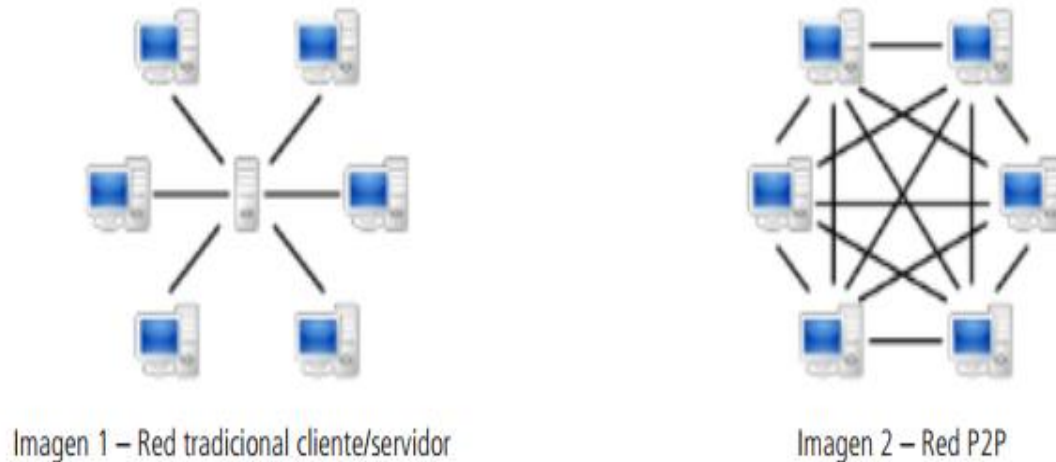
Por otro lado, se está tendiendo integrar cierta capacidad de computación y automatización en las subestaciones como primer paso hacia la red inteligente (Smart Grid). De esta forma según la normativa IEC 61850 se comienza a aplicar “inteligencia” a estos elementos de la red que serán capaces de comunicarse directamente con otros elementos.

*(Tecnologías de la Información y Telecomunicaciones, (2011)).*

## **- Protección y automatización de la red**

Los sistemas de automatización en subestaciones, encargados de interconectar una serie de dispositivos han existido desde hace unos 20 años, usando protocolos propietarios, esos sistemas se han encargado principalmente de la supervisión de elementos.

Hoy en día, este tipo de sistemas han evolucionado y siguen haciéndolo siguiendo como base los protocolos y actuaciones declarados en IEC 61850, utilizando comunicaciones peer-two-peer **(ver Fig. 5)**



*Figura 5. Arquitectura tradicional cliente/servidor y asistida por pares. Derechos de autor 2003 por Exploración de arquitecturas basadas en P2P para la distribución de televisión por suscripción (IPTV). Reimpreso con permiso.*

Herramientas diferentes, permitiendo además de la supervisión, controlar una serie de dispositivos o variables.

Por otro lado, el aumento de la generación energética renovable y la cogeneración, requieren la aplicación de tecnologías de forma que se posibilite su gestión y protección.

Este impacto en las redes eléctricas se manifiesta actualmente, tanto en la transmisión como en la distribución de este tipo de energías.

En particular, el efecto en las subestaciones, tanto en su protección como en su control, ha sido profundo, debido a la necesidad de gestionar electricidad intermitente y de varios niveles de voltaje. (*Tecnologías de la Información y Telecomunicaciones, (2011)*).



## - **Sistemas de información y Telecomunicaciones**

Las comunicaciones entre los diferentes dispositivos del Centro de transformación y el Centro de Control y Supervisión no han tenido hasta ahora un estándar que permita una comunicación de datos eficiente, dificultando la implantación de los diferentes sistemas en los centros de transformación. Además, la interfaz con los relés era en muchos casos inexistente. Para solventar estos problemas se ha creado el protocolo internacional IEC 61850, que define la comunicación entre diferentes dispositivos conectados a una red de área local y se han desarrollado nuevos dispositivos, los IEDs, que integran elementos de comunicación para el telecontrol.

Es importante recordar que las capas técnicas que componen la red eléctrica inteligente al desarrollar la estrategia y la hoja de ruta hacia la transformación, al nivel más alto, las tecnologías de la red eléctrica inteligente pueden dividirse en tres capas:

- Capa de energía. Generación de energía, transmisión, subestaciones, red de distribución y consumo de energía.
- Capa de comunicaciones. Red de área local (LAN), red de área amplia (WAN), red de área de campo (FAN)/AMI y red de área residencial (HAN), que permiten el soporte de la infraestructura de TI.
- Capa de aplicaciones. Control de respuesta de demanda, facturación, control de averías, monitoreo de carga, mercados energéticos en tiempo real y nueva gama de servicio. (*Tecnologías de la Información y Telecomunicaciones, 2011*).

### 2.3 Smart Grid (Redes Eléctricas Inteligentes)

Desde un contexto global, la red eléctrica inteligente se puede definir como la integración dinámica de los desarrollos en ingeniería eléctrica, almacenamiento energético y los avances de las tecnologías de la información y comunicación (o TIC), dentro del negocio de la energía eléctrica (generación, transmisión, distribución, almacenamiento y comercialización, incluyendo las energías alternativas); permitiendo que las áreas de coordinación de protecciones, control, instrumentación, medida, calidad y administración de energía, etc., sean concatenadas en un solo sistema de gestión con el objetivo primordial de realizar un uso eficiente y racional de la energía.

La red eléctrica inteligente es una forma de gestión eficiente de la electricidad que utiliza la tecnología informática para optimizar la producción y la distribución de electricidad con el fin de equilibrar mejor la oferta y la demanda entre productores y consumidores.

El término red inteligente se asocia a menudo con el concepto de medidores inteligentes capaces de ofrecer una facturación detallada por franjas horarias, lo que permitiría a los consumidores no solo el elegir las mejores tarifas de entre las diferentes empresas eléctricas, sino también discernir entre las horas de consumo, lo que a su vez permitiría un mejor uso de la red.

Este sistema también permitiría mapear con más precisión el consumo y anticipar mejor las necesidades futuras a nivel más local. (*Red Eléctrica Inteligente, En Endesa, 2016*).

La realidad es que hoy por hoy la infraestructura de red eléctrica existente parece que cumple parte de las expectativas (desde la generación tradicional y renovable hasta el transporte y parte de la distribución) pero tiene que mejorar notablemente desde el punto de vista del usuario final y las funcionalidades que

se espera de ella. Todo ello está haciendo que aparezca un nuevo concepto de red eléctrica, las redes inteligentes cuya definición básica puede corresponder a “Las redes inteligentes son las redes eléctricas que pueden integrar de manera inteligente el comportamiento y las acciones de todos los actores conectados a ellas (quienes la generan, quienes la consumen y quienes) para proporcionar un suministro de electricidad seguro, económico y sostenible”.

La tecnología de Smart Grid nace de los intentos por usar controles de consumo mediante medidores y sistemas de monitorización. En 1980, los medidores automáticos se utilizaron para monitorizar las cargas de millones de clientes, lo que derivó en una Infraestructura avanzada en 1990 que era capaz de determinar la cantidad de energía que se utilizaba en diferentes momentos del día.

La Smart Grid mantiene una constante comunicación, por lo que los controles se pueden hacer en tiempo real y se pueden utilizar como un puente para la creación de sistemas inteligentes de ahorro de energía en las casas. Uno de los primeros dispositivos de este tipo, fue el de demanda pasiva que permite determinar las variaciones de frecuencia en la provisión de energía en las casas.

Dispositivos domésticos e industriales como los aires acondicionados, heladeras, y calentadores ajustan su ciclo de trabajo para evitar su activación en los momentos en donde exista un pico en la utilización de energía, evitando así la sobrecarga de los sistemas de abastecimiento. En el 2000, Italia creó el primer proyecto Smart Grid que abarcó cerca de 27 millones de hogares usando medidores inteligentes conectados a través de una línea de comunicación.

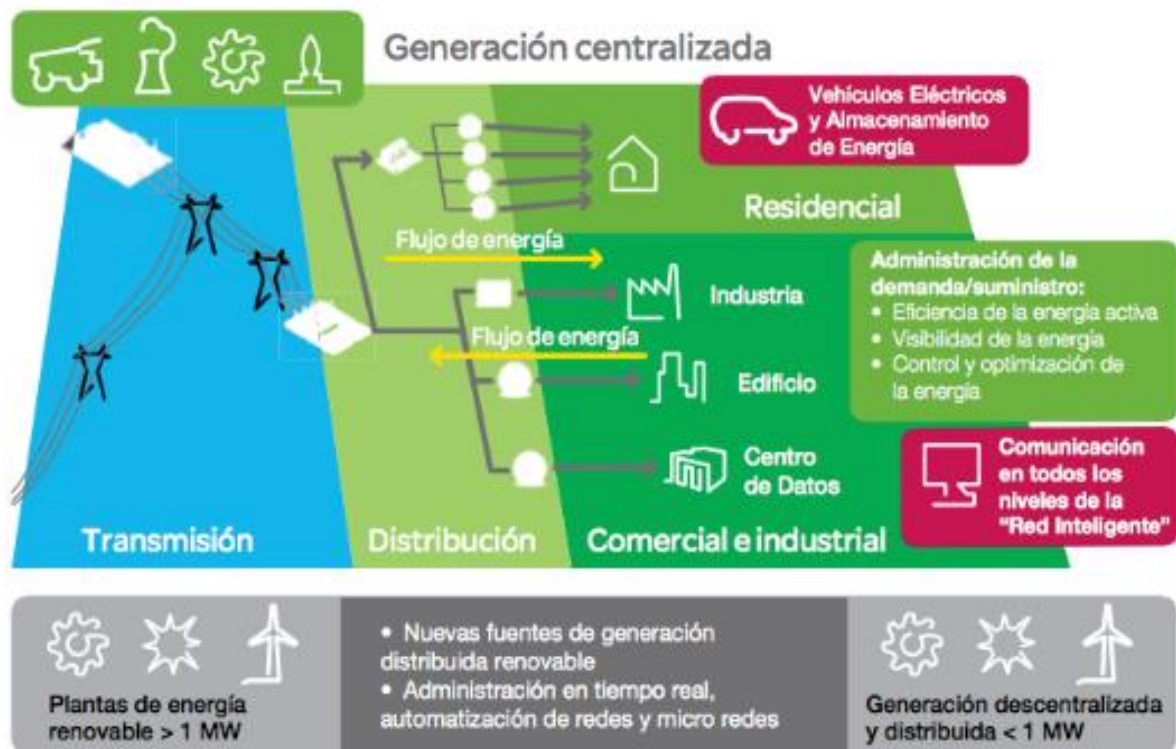


Figura 4. Red Inteligente (Smart Grid). Derechos de autor 2016 por Eficiencia Energética /Red Eléctrica Inteligente. Reimpreso con permiso.

Una red inteligente emplea productos y servicios innovadores junto con monitorización inteligente, técnicas de control, comunicaciones y tecnologías con el fin de:

- Fomentando la participación de los usuarios de forma activa en la red.
- Permitir la coexistencia en la red de todo tipo de generadores, independientemente de su tamaño o tecnología.
- Suministrar a los usuarios una mayor cantidad de información y opciones a la hora de seleccionar el suministro eléctrico.
- Reducir el impacto ambiental por medio de mejoras en la eficiencia de la generación y el transporte energético.

- Mejorar el nivel de la energía eléctrica generada, permitiendo al usuario que o requiera disponer de cierto grado de calidad en su suministro energético.
- Mejorar y ampliar los servicios energéticos de forma eficiente.

Los problemas de seguridad que se han detectado a principios de 2009 en el despliegue de las “Smart Grids” en Estados Unidos han demostrado la necesidad de una nueva arquitectura de comunicaciones. La seguridad que hay que añadir a las redes IP es lo más complejo de la historia de las comunicaciones (firewalls, IDSs, spam, spoofing, troyanos, virus, suplantación de identidad). Los datos del cliente y los temas relacionados con la privacidad son en la actualidad puntos candentes de contención en la evolución de las redes eléctricas inteligentes.

A pesar de que las comunicaciones no son el foco principal de concentración de las empresas de energía pública, la red eléctrica inteligente requiere una sólida red de comunicaciones que permita el soporte de las funciones tradicionales de las empresas de servicios públicos en la capa de energía.

También debe contar con la flexibilidad de adaptarse a los nuevos requisitos de la capa de aplicaciones. Debe permitir el soporte de la respuesta de demanda, dispositivos avanzados de contadores y fuentes de energía distribuida.

La red de comunicaciones debe proporcionar integración transparente, comunicación en tiempo real y gestionar el flujo de datos que está siendo protegido por los componentes de la red eléctrica inteligente a la vez que mantiene la seguridad. (*Observatorio Industrial del Sector de la Electrónica, Tecnologías de la Información y Telecomunicaciones. (2011). Smart Grids Y La Evolución De La Red Eléctrica*)

A continuación, en las tablas 1 y 2 se representan las principales características que implementarán las Smart Grids, realizando una comparación de dichas características con las equivalentes en la red eléctrica actual:

**Tabla 1**

*Características de Red Eléctrica y Smart Grid I*

<b>Características</b>	<b>Red Eléctrica</b>	<b>Smart Grid</b>
Automatización	Existencia muy limitada de elementos de monitorización, reservándose a la red de transporte.	Integración masiva de sensores actuadores, tecnologías de medición y esquemas de automatización en todos los niveles de la red.
Inteligencia y control	La red actual de distribución carece de inteligencia, implementando un control manual.	Se enfatiza la creación de un sistema de información e inteligencia distribuidos en el sistema.
Autoajuste	Se basa en la protección de dispositivos ante fallos del sistema.	Automáticamente detecta y responde a transmisiones actuales y problemas en la distribución. su enfoque se basa en la prevención. Minimiza el impacto en el consumidor.

Nota. Recuperado de Redes Inteligentes Smart Grid. Derechos de autor 2012 por Constructor Eléctrico Energy Management. Reimpreso con permiso.

**Tabla 2***Características de Red Eléctrica y Smart Grid II*

<b>Características</b>	<b>Red Eléctrica</b>	<b>Smart Grid</b>
Resistencia ante ataque	Infraestructuras totalmente vulnerables.	Resistente ante ataques y desastres naturales con una rápida capacidad de restauración.
Gestión de la demanda	No existe ningún tipo de gestión en la utilización de dispositivos eléctricos, en función de la franja horaria del día, o del estado de la red eléctrica.	Incorporación por parte de los usuarios de electrodomésticos y equipos eléctricos inteligentes, que permiten ajustarse a esquemas de eficiencia energética, señales de precio y seguimiento de programas de operación predefinidos.
Calidad Eléctrica	Solo se resuelven los cortes de suministro, ignorando los problemas de calidad eléctrica. De esta forma persisten problemas de huecos de tensión, perturbaciones, ruido eléctrico, etc.	Calidad eléctrica que satisface a industria y clientes. Identificación y resolución de problemas de calidad eléctrica. Varios tipos de tarifas para varios tipos de calidades eléctricas.
Capacidad para todas las opciones de generación y almacenamiento.	Pocas plantas generadoras. Existen muchos obstáculos para interconectar recursos energéticos distribuidos.	Gran número de diversos dispositivos generadores y almacenadores de energía, Para completar a las grandes plantas generadoras. Conexiones "PlugAndPlay". Más enfocado en energías Renovables.

Nota. Recuperado de Redes Inteligentes Smart Grid. Derechos de autor 2012 por Constructor Eléctrico Energy Management. Reimpreso con permiso.

## 2.4 Contadores Inteligentes

### 2.4.1 Clasificación

El equipo para la medida de la energía eléctrica consumida es un contador eléctrico que consta de tres elementos principales, como son el sistema de medida, el elemento de memoria y el dispositivo de información.

Los equipos de medida de energía eléctrica pueden clasificarse según sus características:

- Tecnológicas: pudiendo ser contadores electromecánicos o electrónicos.
- Funcionales: como monofásicos o trifásicos.
- Energéticas: como contadores de activa y/o contadores de reactiva.
- Operativas: como dispositivo de tipo registrador o programables que permiten la telegestión.

Los equipos de tipo registrador pueden ser de las dos tecnologías:

Electromecánicos: que permiten medir solamente un tipo de energía, kWh acumulados o kVAh acumulados, no poseen discriminación tarifaria siendo los contadores estándar electromecánicos de inducción. En el caso de que el cliente disponga de tarifa nocturna, el contador está equipado con un reloj-conmutador y dos registros, de manera que la energía consumida se acumula en uno u otro registro, en función de la situación del conmutador. (*Smart Grids: European Technology Platform, 2017*)



Electrónicos: Automatic Meter Reading (AMR), permiten medir solamente energía acumulada, registran la medida de energía total mensual o por intervalos de tiempo predefinidos.

Contemplan comunicación bidireccional básica entre el medidor y el servidor de datos, permitiendo a partir de esta tecnología las medidas de tiempo de utilización, (ToU). (*Smart Grids: European Technology Platform, 2017*)

Con esta primera evolución, gracias a reemplazar los contadores electromecánicos por contadores electrónicos de estado sólido, es posible disponer de la información energética de forma digital. Con este paso dado, es posible añadir capacidad de comunicación al dispositivo, permitiendo al interesado usar la tecnología AMR para acceder de forma remota a los datos a través de la capa de comunicación. Las compañías eléctricas han desarrollado diferentes arquitecturas para acceder a la lectura de los contadores.

Otra arquitectura muy utilizada consiste en concentrar varias medidas de diferentes viviendas en un dispositivo (concentrador), y capacitar a este de comunicación inalámbrica para que transmita todos los datos a la compañía correspondiente.

Los equipos programables de medida, son de tipo electrónico:

**Advanced Meter Infrastructure (AMI):** pueden considerarse una ampliación de los AMR, estos equipos permiten la lectura del consumo “a la carta” de la energía acumulada o de la potencia instantánea, admiten opciones de precios diferenciados por tipo de medida y registros de la demanda, o programación de intervalos de “carga” previamente acordados con cada cliente. (*Smart Grids: European Technology Platform, 2017*)

**Smart Meters:** estos equipos proporcionan mediante centro de gestión la información y el control de los parámetros de calidad y de programación del servicio junto con la actualización del software de medición de forma telemática. Contempla la comunicación ampliada en red con el gestor y Home Area Network (HAN) con los equipos locales de consumo. (*Smart Grids: European Technology Platform. (2017)*)

Inicialmente, la implantación de sistemas AMR y la eliminación de la lectura manual, se llevaron a cabo para reducir los costes de mano de obra en la lectura de los datos energéticos. Sin embargo, actualmente, la industria se ha dado cuenta que los sistemas AMR permiten a las compañías producir mayores beneficios y servicios, tales como tarificación en tiempo real para promover la eficiencia energética, detección inmediata de fallos en el sistema y datos más avanzados y precisos del usuario con los que formar su perfil de consumo.

En ocasiones, los sistemas AMR se sustituyen por AMI (Advanced Metering Infrastructure). Los sistemas de medida AMI se pueden implementar mediante tecnologías desde satélites hasta equipos de radio. En la actualidad la radiofrecuencia y PLC (Power Line Carrier) son los sistemas de comunicación que destacan sobre el resto. La mayor ventaja de los sistemas PLC es que las *compañías eléctricas ya no tienen que depender de un proveedor de telecomunicaciones externo.* (*Smart Grids: European Technology Platform. (2017)*)

Sin embargo, actualmente, la industria se ha dado cuenta que los sistemas AMI permiten a las compañías producir mayores beneficios y servicios, tales como tarificación en tiempo real para promover la eficiencia energética, detección inmediata de fallos en el sistema y datos más avanzados y precisos del usuario con los que formar su perfil de consumo.

## 2.4.2. Características de Medidores Inteligentes

El Smart Meter (Contador Inteligente) básicamente incluye como mínimo los siguientes suplementos, control de energía mediante ICP programable que establece el límite de consumo, un puerto HAN (Home Area Network) y servicios de tarificación bajo demanda. La estructura general del contador mantiene los tres elementos principales como son el sistema de medida, la memoria y el dispositivo de información principal, que hasta ahora solo era el sistema de comunicaciones.

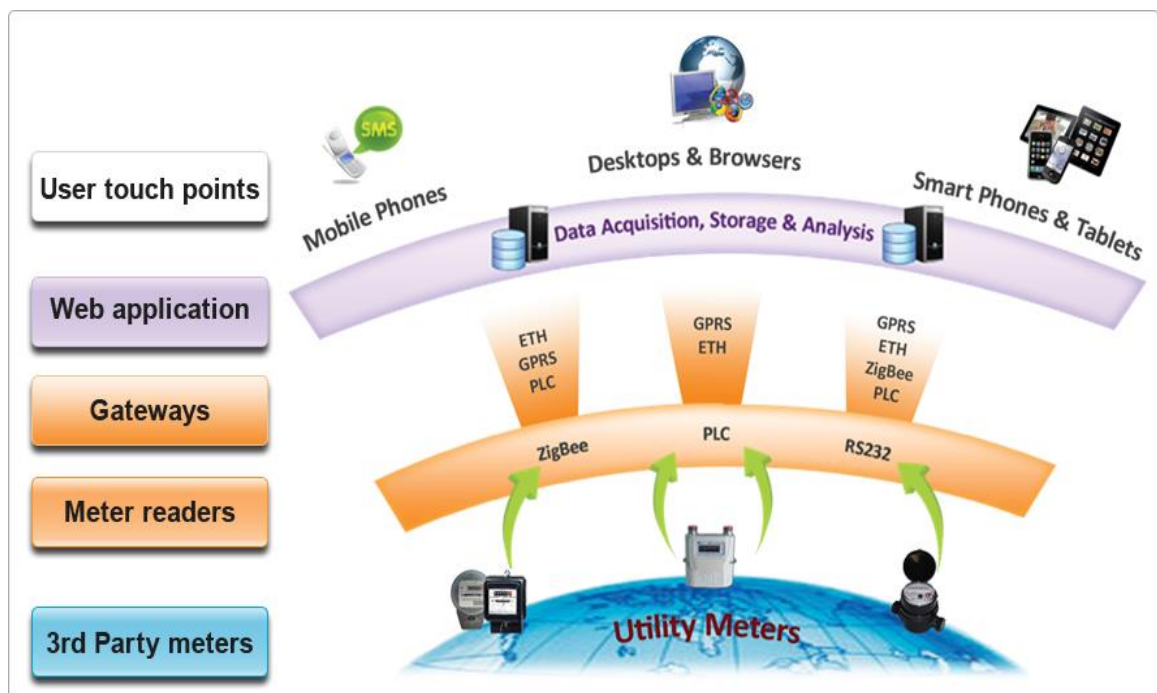


Figura 6. Tecnología, conexiones y aplicaciones en la red. Derechos de autor 2010 por Maven Systems Pvt. Ltd. Reimpreso con permiso.

Para ampliar sus capacidades operativas se le añaden los elementos complementarios siguientes:

- Sistemas de alimentación.
- Procesador de cálculo.
- Procesador de comunicaciones.
- Dispositivo de accionamiento o control.

En las tablas 3 y 4 se citan las características comparativas entre los medidores eléctricos inteligentes que más se destacan a nivel mundial:

**Tabla 3**

*Características comparativas de medidores eléctricos inteligentes I*

<b>Fabricante</b>	<b>Medidor</b>	<b>Características</b>
Circutor	Cirwatt B200rc	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contador monofásico digital multifunción clase B en medida de energía activa y clase 2 en energía reactiva.</li> <li>- Dispone de comunicaciones PLC y un puerto óptico.</li> <li>- Comunicaciones utilizan el protocolo iec-870-5-102.</li> <li>- Descarga a distancia de todos los datos registrados por el contador, a través del concentrador plc800.</li> </ul>
Circutor	Cirwatt B200rcp	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Monofásico digital multifunción de clase B en energía activa y clase 2 en energía reactiva.</li> <li>- Dispone de comunicaciones PLC / PRIME, así como de un puerto óptico.</li> <li>- Ambas comunicaciones utilizan el protocolo DLMS.</li> <li>- El elemento de corte integrado permite la gestión a distancia del suministro.</li> </ul>
Circutor	Cirwatt B102	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contador monofásico para uso residencial.</li> <li>- Dispone de hasta 4 tarifas y una configuración flexible</li> <li>- Dispone de perfil de carga con más de 400 días de datos, 12 cierres de facturación.</li> <li>- Puerto de comunicaciones rs-485, el cual, permite conectar hasta 32 contadores.</li> </ul>
Circutor	Cirwatt B100	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contador monofásico digital de clase B o clase A en medida de energía activa.</li> <li>- Posee Sistema autónomo de retención de datos que evita su pérdida frente a la ausencia de alimentación.</li> <li>- Posibilidad de acumulación de energía inversa y facilidad de lectura a través de su puerto óptico.</li> <li>- Clase 1 (según normativa iec-62053-21) y clase B (según la directiva europea mid-en50470).</li> </ul>

Nota. Recuperado de Contadores Eléctricos Inteligentes. Derechos de autor (s,f) por Circutor. Reimpreso con permiso.

**Tabla 4***Características comparativas de medidores eléctricos inteligentes II*

<b>Fabricante</b>	<b>Medidor</b>	<b>Características</b>
<b>Circutor</b>	Cirwatt B410t	<ul style="list-style-type: none"><li>- Contador trifásico indirecto de energía activa y reactiva.</li><li>- Clase 1 según IEC-62053-21.</li><li>- Idóneo para suministros en baja y media tensión.</li><li>- Soluciones de instalaciones tales como: centros comerciales, industrias y zonas residenciales.</li></ul>
<b>Circutor</b>	Cirwatt B502	<ul style="list-style-type: none"><li>- Contador de alta precisión.</li><li>- Medida en 4 cuadrantes con gran variedad en módulos de entradas salidas y comunicaciones.</li><li>- Diseñado especial para aplicaciones en media o alta tensión.</li><li>- Ideal para el contaje en sistemas de generación-transporte de energía.</li><li>- Diseñado para instalaciones en las que se requiera la facturación por contratos con varios perfiles de carga.</li></ul>
<b>Circutor</b>	Cirwatt B505	<ul style="list-style-type: none"><li>- Contador trifásico indirecto, registrador y multitarifa de energía activa y reactiva.</li><li>- Versatilidad en programación, comunicaciones y módulos de expansión.</li><li>- Contador 4 cuadrantes adecuado para la industria media o pesada.</li><li>- IEC 62053-22 para energía activa (clase 0,5s).</li><li>- IEC 62053-23 para energía reactiva (clase 1 o 2).</li></ul>
<b>Circutor</b>	Cirwatt B410d	<ul style="list-style-type: none"><li>- Contador trifásico directo, idóneo para aplicaciones trifásicas industriales.</li><li>- Clase 1 según IEC-62053-21.</li><li>- Equipo adecuado para aplicaciones en baja tensión (para corrientes hasta 100 o 120 A).</li><li>- 2 Cuadrantes para consumos de energía o 4 cuadrantes para las plantas fotovoltaicas.</li></ul>

Nota. Recuperado de Contadores Eléctricos Inteligentes. Derechos de autor (s,f) por Circutor. Reimpreso con permiso.

### 2.4.3 Tipos de tecnología para diferentes modelos

En las tablas 5 y 6 se citan algunos de los fabricantes de contadores más destacados que guardan algún tipo de relación con la Smart Grid.

**Tabla 5**

*Fabricantes de Contadores Inteligentes a nivel mundial I*

Fabricante	País	Productos y servicios que ofrecen
Circutor	España	Diseño y fabricación de equipos para la eficiencia energética eléctrica, potencia eléctrica industrial, medida y control de la energía
Elster Group	Luxemburgo	Proveedor de equipos para control de red y software. Desarrollo de soluciones de medición inteligente. Proveedor mundial de productos avanzados de medición y soluciones inteligentes de medición.
GE Energy	EEUU	Contadores Inteligentes de Electricidad, Agua y Gas. AMR y Smart Meter
Iskraemeco	Eslovenia	Proveedor mundial de los dispositivos y sistemas de medición de energía eléctrica, registro y facturación

Nota. Recuperado de Contadores Digitales Homologados. Derechos de autor 2018 por la compañía Iberdrola Distribución Eléctrica. Reimpreso con permiso

**Tabla 6***Fabricantes de Contadores Inteligentes a nivel mundial II*

<b>Fabricante</b>	<b>País</b>	<b>Productos y servicios que ofrecen</b>
Itron, actaris	EEUU	Proveedor de Tecnologías energéticas
Landis+gyr	Suiza	Medición de electricidad, Telegestión y contadores inteligentes
Siemens	Alemania	Especializados en sistemas eléctricos de automatización y Contadores inteligentes
Energy	Alemania	Especializados en sistemas eléctricos de automatización y contadores inteligentes
Ziv	España	Contadores de energía eléctrica y sistemas de contadores, equipos de medida de calidad de servicio eléctrico

Nota. Recuperado de Contadores Digitales Homologados. Derechos de autor 2018 por la compañía Iberdrola Distribución Eléctrica. Reimpreso con permiso

Los fabricantes de dispositivos electrónicos para medición inteligente ofrecen distintos diseños de base para facilitar la fabricación de contadores energéticos. A continuación, se muestra las características principales de algunos de los circuitos integrados más utilizados.

## ADE5169 (Analog Devices)

Este dispositivo está preparado para medir en tomas monofásicas los siguientes parámetros: Irms, Vrms, P, Q, S. En el mismo encapsulado incorpora un bloque de medición energética ligado a un DSP, además incorpora un microcontrolador con una arquitectura 8052, un RTC (Real Time Clock), un controlador de LCD y diversos complementos necesarios para el desarrollo de un medidor energético.

Para la implementación de las comunicaciones necesarias, este circuito integrado presenta dos interfaces UART programables independientes. (*Smart Grids: European Technology Platform, 2017*)

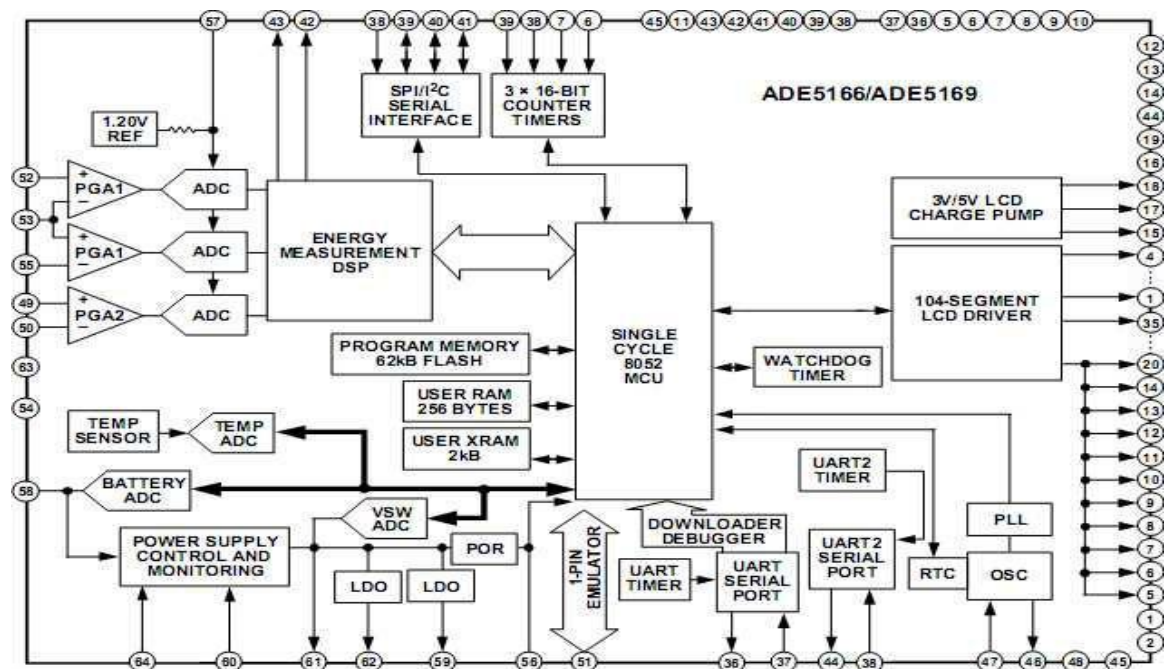


Figura 7. Arquitectura ADE5169 (**Analog Devices**). Derechos de autor (s,f) por Apunte de Catedra. Reimpreso con permiso.

El hecho de disponer de los datos energéticos digitalizados de forma externa al micro controlador hace que se disponga de la totalidad de la memoria (64 kB) flash para la implementación de programas avanzados.



### **AVR465 (Atmel)**

Este dispositivo está preparado para medir en tomas monofásicas los siguientes parámetros: Irms, Vrms, P. La principal diferencia que presenta este dispositivo es que utiliza dos transductores de corriente para medir tanto en las líneas de fase como en las de neutro, de esta forma el dispositivo es capaz de detectar intentos de manipulación del sistema de medida. (*Smart Grids: European Technology Platform, 2017*)

El diseño de este sistema está basado en un microcontrolador AVR. Todas las medidas realizadas se digitalizan y se pasan al microcontrolador a través de PWM (Pulse Width Modulation) mediante la UART de que dispone. Esto lo convierte en un circuito con un bajo coste y muy eficiente.

El fabricante proporciona en su hoja de aplicación toda la descripción necesaria para desarrollar y ensamblar el dispositivo en cuestión, basado en un ATmega88.

### **AS8268 (Austriamicro-sys)**

Este dispositivo integrado, capaz de medir en líneas monofásicas valores de Irms, Vrms, P y Q; sigue la misma filosofía que el ADE5169 de Analog Devices, integrando una unidad externa encargada de digitalizar las medidas analógicas energéticas gracias a un DSP y a un sistema de recogida de valores analógicos. Como puede observarse en la imagen, también basa su funcionamiento en un microcontrolador de arquitectura 8051 y dispone de un driver hardware para controlar LCD's. (*Smart Grids: European Technology Platform, 2017*)

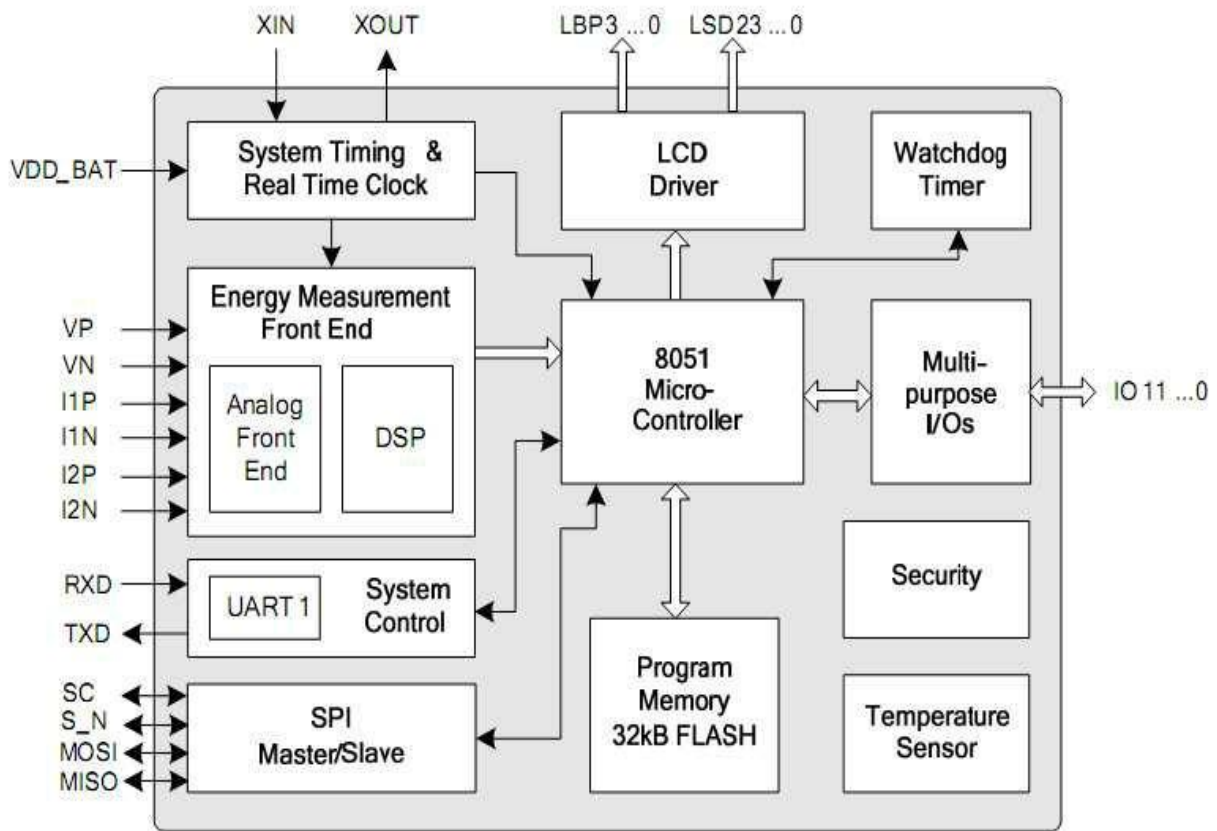


Figura 8. Arquitectura AS8268 (Austriamicro-sys). Derechos de autor (s,f) por Apunte de Catedra. Reimpreso con permiso.

Al igual que el AVR465 de Atmel, este integrado es capaz de realizar mediciones tanto en la línea de fase como en la de neutro con el fin de poder detectar fallos o manipulaciones del sistema de medida. Por otro lado, dispone de dos puertos de comunicaciones (uno UART y otro SPI).

### CS5463 (Cirrur Logic)

Este circuito integrado basa su sistema de captura de información energética en dos convertidores A/D Delta-Sigma. Además de calcular los parámetros básicos de tensión, corriente y potencia, es capaz de calcular frecuencias y armónicos.

Por otro lado, este circuito integrado se limita a calcular los parámetros descritos y a ponerlos a disposición ya sea bien a través de una interfaz de comunicación serie, o bien a través de modulación de pulsos en función de la energía consumida. (*Smart Grids: European Technology Platform, (2017)*)

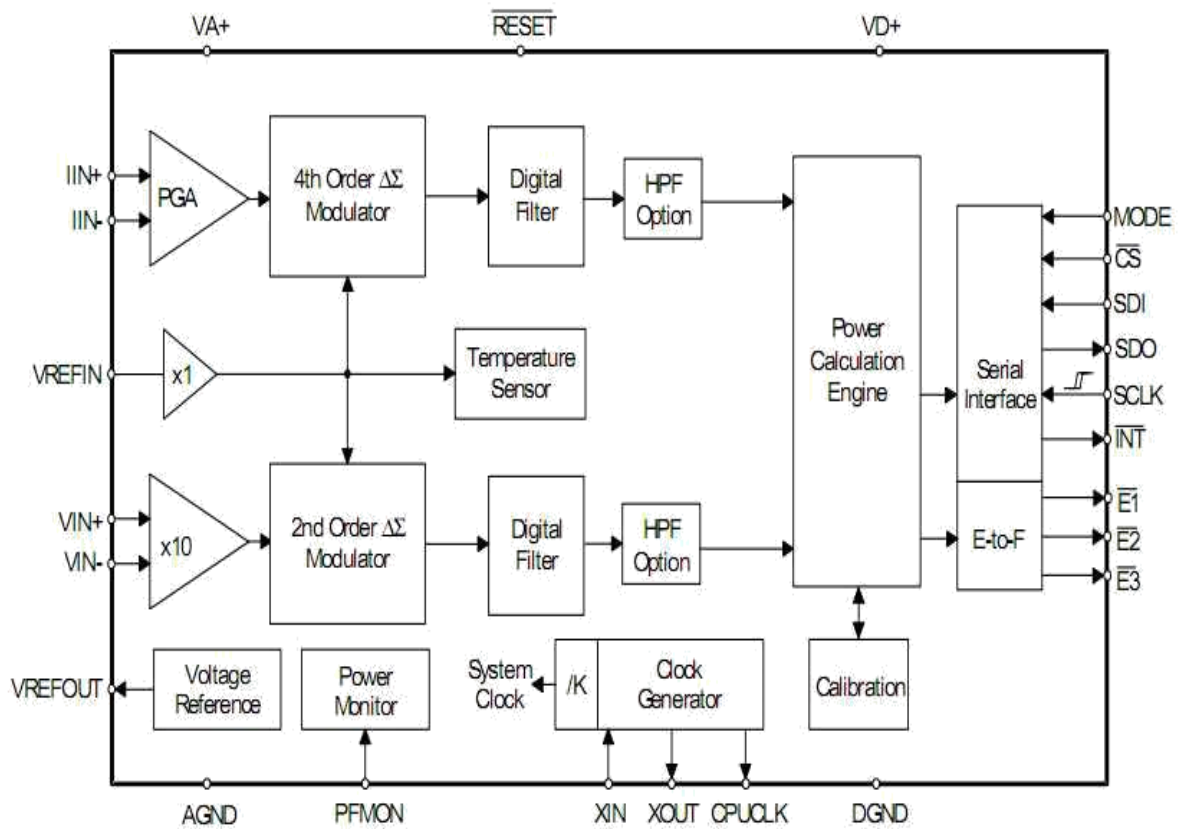


Figura 9. Arquitectura CS5463 (Cirrux Logic). Derechos de autor (s,f) por Apunte de Catedra. Reimpreso con permiso.

Por tanto, este circuito no sirve de base para la implementación de un contador, sino que proporciona una pieza clave para su funcionamiento, siendo necesario disponer de otro dispositivo encargado de alojar un programa que pueda proveer los servicios necesarios como control de LCD's, comunicaciones, indicadores, etc.

## MAXQ3183 (MAXIM)

Al igual que el CS5463 de Cirrus, este integrado es capaz de recoger y calcular un mayor número de parámetros que otros dispositivos, como fases, armónicos, frecuencias, etc., operando en sistemas trifásicos (3F/3H o 3F/4H).  
(*Smart Grids: European Technology Platform, 2017*)

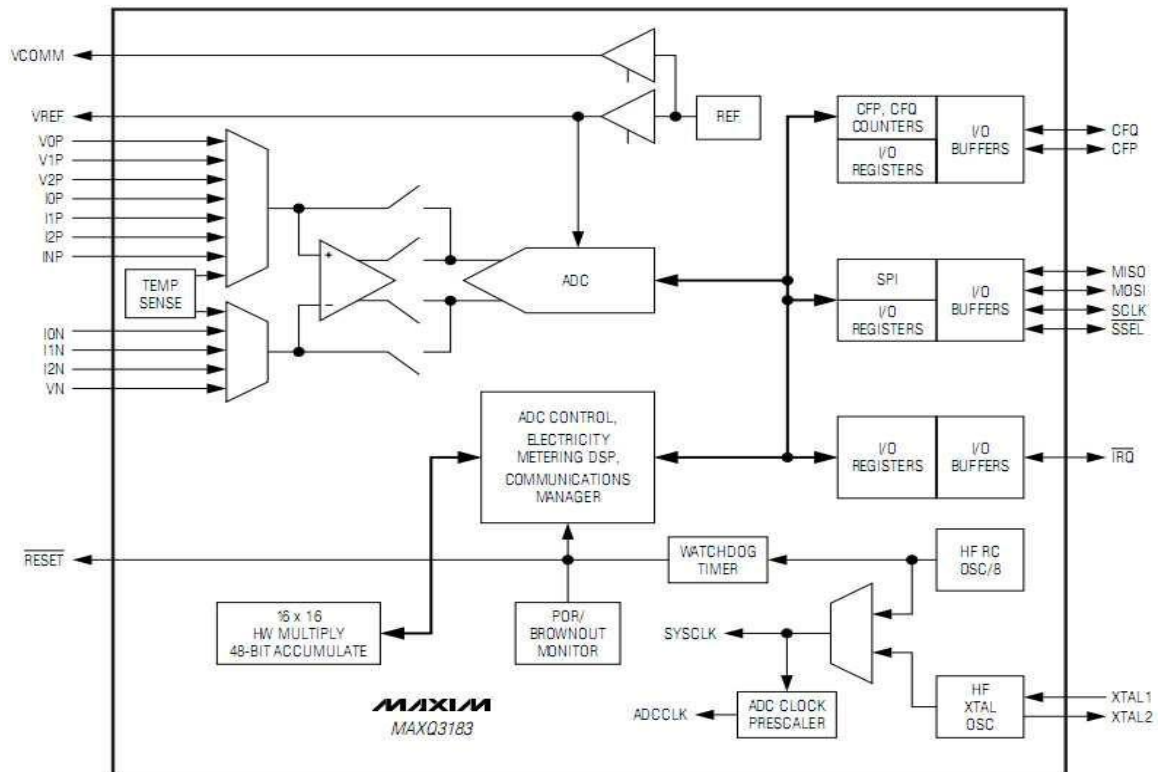


Figura 10. Arquitectura MAXQ3183 (MAXIM). Derechos de autor (s,f) por Apunte de Catedra. Reimpreso con permiso.

Sin embargo, no dispone de una unidad controladora capaz de gestionar dicha información y representarla de alguna manera. Una vez calculados los parámetros dispone de 3 salidas de pulsos configurables para representar energía activa, reactiva y aparente. Además, dispone de una interfaz serie para acceder a todos los datos calculados de forma más exacta.

## MCP3905 (Microchip)

Este circuito está diseñado para medir tensión y corriente en sistemas monofásicos, proporcionando una salida de pulsos proporcional a la potencia real que esté siendo consumida en la línea

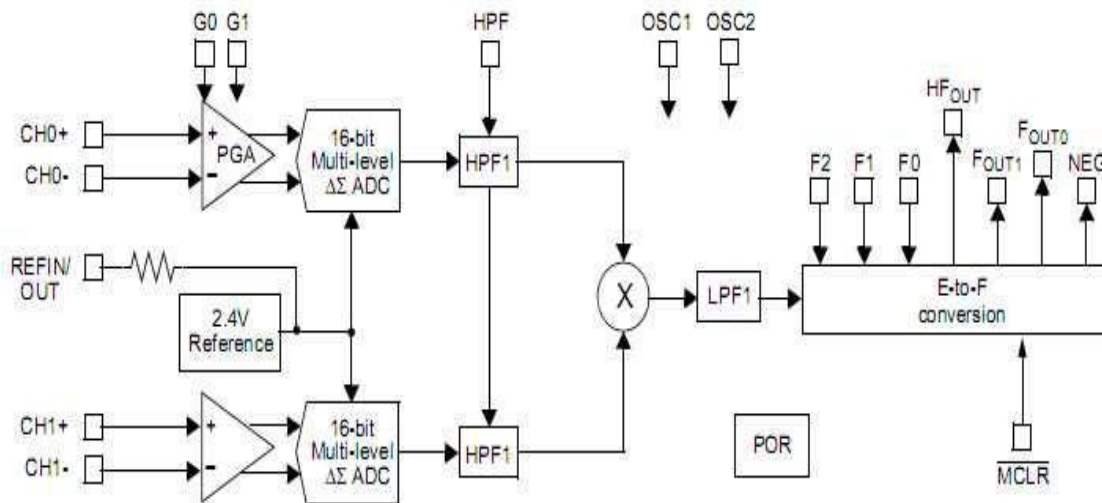


Figura 11. Arquitectura MPC3905 (Microchip). Derechos de autor (s,f) por Apunte de Catedra. Reimpreso con permiso.

El funcionamiento del integrado es muy sencillo, careciendo de cualquier tipo de controlador, entradas/salidas adicionales, o puertos de comunicación. Por tanto, para el diseño de contadores será necesario disponer de otro elemento central capaz de proveer de estas características necesarias. (*Smart Grids: European Technology Platform, 2017*)

## SA9904 (Sames)

Este dispositivo es capaz de medir Vrms, Irms, frecuencia, P, Q, S en sistemas trifásicos tanto de 3 hilos como de 4 hilos. Realiz a la medición de corriente tanto en las líneas de fase como en las líneas de neutro, facilitando la detección de manipulaciones. (*Smart Grids: European Technology Platform, 2017*)

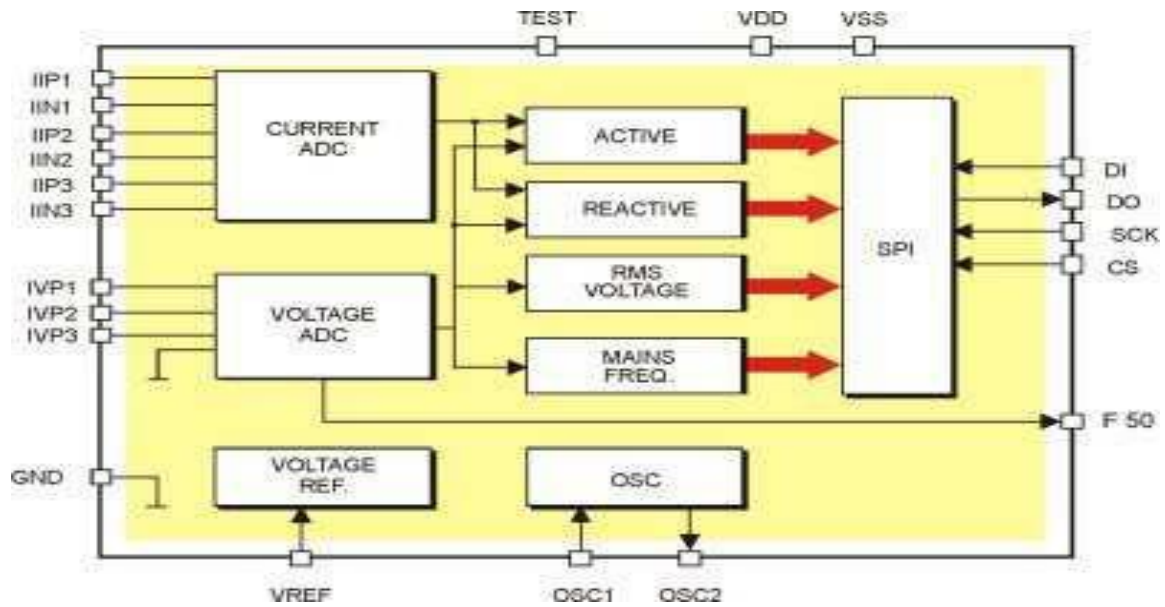


Figura 12. Arquitectura SA9904 (Sames). Derechos de autor (s,f) por Apunte de Catedra. Reimpreso con permiso.

Al igual que los anteriores circuitos integrados, este SA9904 no posee unidad MCU, de forma que proporciona los datos a través de una interfaz SPI que necesitará conectarse con una unidad externa que recoja los datos para representarlos, enviarlos o actuar en consecuencia.

### 71M6531F (Teridian)

Este integrado es una de los más completos del mercado. Puede medir  $I_{rms}$ ,  $V_{rms}$ , y potencia y energía en los cuatro cuadrantes cumpliendo con el estándar IEC62053. Además, incorpora un microcontrolador de características avanzadas que dispone de 256 kB de memoria, 2 interfaces de comunicación UART, controlador LCD, convertidor A/D de 22 bits, etc.

Por tanto, está dirigido al desarrollo de dispositivos de medida energética con capacidad de transferir, monitorizar y gestionar toda la información almacenada en memoria, convirtiéndose en una pieza clave dentro del dispositivo a desarrollar. (*Smart Grid: European Technology Platform, (2017)*)

#### **2.4.4 Protocolos De Telegestión**

Hasta hace algunos años, la relación entre los consumidores y las empresas de suministro eléctrico se basaba meramente en que las primeras hacían llegar la energía dónde y cuándo se necesitaba, y los clientes estaban satisfechos si esto se cumplía. Las decisiones sobre el suministro se dejaban en mano de los proveedores. Además, las tarifas estaban reguladas y el cliente poco podía controlar.

En los últimos tiempos esta relación ha ido evolucionando, la preocupación por el cambio climático, el aumento del coste de la energía, las crecientes necesidades de fiabilidad y los avances tecnológicos provocan una participación cada vez mayor del consumidor, lo que redefine la relación con las empresas suministradoras. Para posibilitar esta nueva relación debe existir una interfaz que permita la toma de decisiones basada en información en tiempo real. La red que se construye hoy ha de satisfacer las necesidades de los clientes de mañana. Mejorar el rendimiento para cumplir los requisitos del mercado significa innovar e integrar la tecnología entorno a los procesos de las empresas. Las tecnologías de la información y la comunicación son la pieza clave de las empresas del futuro. Las telecomunicaciones, como medio para interactuar con los clientes y con la distribución se convierten en un factor clave.

Conducidos por la necesidad de útiles que optimicen su proceso de negocio, el contador se convierte más y más en parte integrante de un sistema de medida y facturación integral. Mientras que en el pasado el valor comercial de un contador era generado principalmente por la adquisición de datos y su capacidad de procesamiento, hoy en día las propiedades críticas son la capacidad de comunicación, el sistema de integración y la interoperabilidad.

El proyecto OPEN meter (Open Public Extended Network metering) surgió en 2009 para superar las barreras que existían en la adopción a gran escala de la medición inteligente y construir la infraestructura para un sistema de medida

avanzado en Europa, todo ello gracias al desarrollo de un amplio conjunto de normas abiertas y públicas.

La participación en el proyecto de un amplio número de empresas importantes del sector (ya sea como socios o como parte externa) asegura la aceptación final de los resultados del proyecto. (*Smart Grid y Evolucion de las redes eléctricas*, 2016).

El principal objetivo de OPEN meter es especificar un conjunto comprensible de normas públicas y abiertas para sistemas AMI, que soporten contadores de electricidad, gas, agua y calor, basándose en el acuerdo de todas las partes interesadas, y teniendo en cuenta las condiciones reales de la red de servicios públicos para permitir la plena implementación.

El proyecto ha llevado a cabo un estudio de las tecnologías disponibles, sus aplicaciones, ventajas e inconvenientes. Entre ellas ha seleccionado para cada puerto de comunicación las más apropiadas según los requisitos establecidos. Entre estas tecnologías destacan como protocolos DLMS/COSEM y Meters&More.

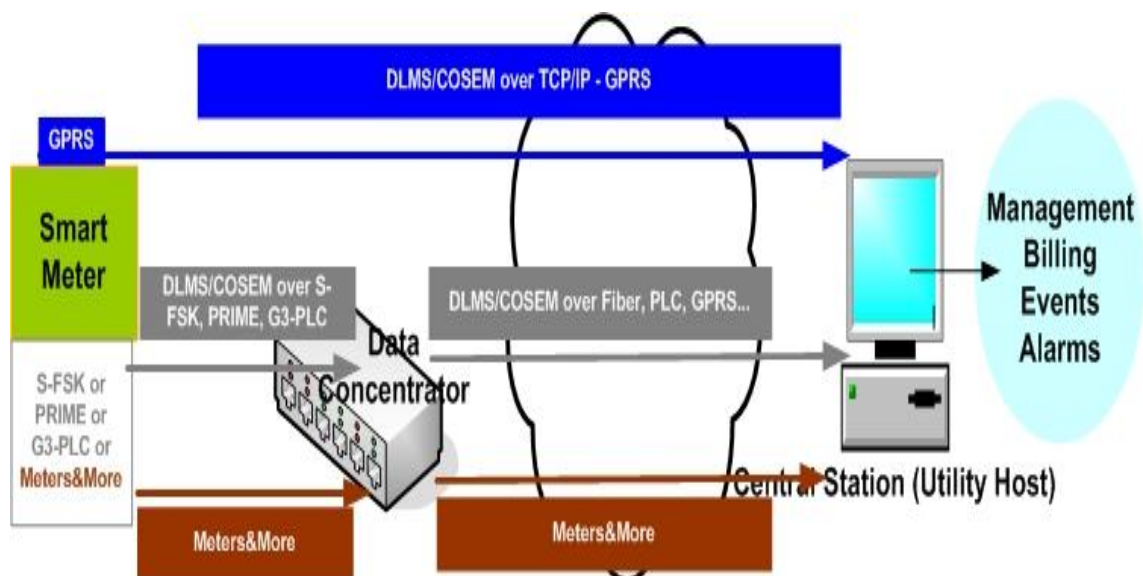


Figura 13. Tecnologías adecuadas en cada puerto de comunicación. Derechos de autor (2012) por TecNALIA. Reimpreso con permiso.



## 2.4.5 Protocolos para una Red Eléctrica Inteligente.

- **DLMS/COSEM: IEC 62056**

El DLMS/COSEM es un estándar abierto e internacional para el intercambio de datos con contadores de cualquier tipo de energía, y más generalmente con dispositivos inteligentes. Se desarrolló en los 90 por fabricantes y empresas líderes en el sector con el objetivo de proporcionar un medio para el intercambio de datos entre contadores según un estándar interoperable, independiente del tipo de energía y del fabricante, y sobre diferentes medios de comunicación. *(Smart Grid y Evolución de las redes eléctricas (2016))*

Para conseguir estos objetivos, DLMS/COSEM usa una aproximación en 3 pasos:

- Modelado de los datos de las aplicaciones: Engloba el modelo de objetos de interfaz COSEM y el sistema de identificación de datos OBIS.
- Mensajería: Engloba los servicios para utilizar el modelo de datos. Son los servicios DLMS proporcionados por la capa de aplicación COSEM.
- Transporte: Engloba los perfiles de comunicación, por ejemplo, las reglas para el transporte de los **APDU** hacia varios canales de comunicación.

### **Características clave del DLMS/COSEM: IEC 62056**

*(Smart Grid y Evolución de las redes eléctricas, (2016))*

- Modelo de datos y sistema de identificación independientes del método de comunicación y mensajería: Los objetos de interfaz COSEM identificados con códigos OBIS modelan la aplicación de manera independiente del método de mensajería y del de comunicación.

- Multi-energía: Todos los tipos de energía (electricidad, gas, agua, calor, etc.) están contemplados. Las clases de interfaz son las mismas, sólo sus códigos OBIS son específicos del tipo de medio/energía.
- Auto-descripción: El contador proporciona información sobre los recursos disponibles (lista de objetos). El contador también proporciona en cada mensaje los tipos de datos utilizados. En consecuencia, el sistema de recogida de datos y el contador pueden intercambiar datos basándose únicamente en la información obtenida del estándar y leer desde el contador, con una dependencia mínima de la información que proviene del fabricante, como claves o elementos específicos del fabricante. Esto facilita el enchufar un dispositivo y utilizarlo sin preocuparse de la configuración (plug-and-play).
- Servicios de mensajería DLMS comunes para todas las interfaces de clase y los objetos: Son utilizados para acceder a los atributos y métodos de los objetos COSEM. Esto significa que nuevas clases de interfaz pueden ser especificadas para suplir nuevas funciones sin afectar al protocolo. Para codificar, se utiliza el eficiente estándar IEC 61334-6 A-XRD.
- Aproximación cliente-servidor: Los contadores actúan como servidores, aportando los datos o servicios solicitados por el sistema de gestión de los contadores, que actúa como cliente. Los contadores también pueden enviar información no solicitada (alarmas, conjuntos de datos predefinidos, etc.).
- Acceso basado en roles: El servidor puede aportar un ámbito diferente de acceso a diferentes clientes con diferentes roles (usuario final, lector del contador, ingeniero de utilidades, fabricantes, etc.).

- Bloques OSI (Open System Interconnection) / Internet basados en el protocolo que lleva los mensajes: Cualquier comunicación capaz de llevar DLMS APDU (Application, Protocol Data, Units) es deseable. La comunicación soportada actualmente es por puerto local óptico o eléctrico, PSTN, GSM, internet, GPRS, PLC, M Bus, Euridis, etc.
- Separación de los modelos de datos y los protocolos – “ortogonalidad”: El modelo de datos y los protocolos están escrupulosamente separados. La interfaz entre ellos es proporcionada por los servicios de mensajería DLMS. Esto significa que el modelo de objetos puede desarrollarse sin afectar al protocolo, y que el protocolo puede desarrollarse sin afectar al modelo. Esto hace las especificaciones adaptables en el futuro.
- Métodos alternativos de mensajería, como el XML, son posibles y están bajo consideración.
- Negociación de las capacidades: El cliente y el servidor pueden negociar las características y capacidades en todos los niveles de capa del protocolo y del modelo, para usarlas durante el intercambio. Esto facilita la interoperabilidad.
- Flexibilidad y escalabilidad: Sólo hay unos pocos elementos en DLMS/COSEM que son obligatorios y que deben ser implementados, el resto son opcionales lo que permite construir tanto contadores simples como complejos, y así optimizar los costes.
- Seguridad del transporte de datos: La seguridad del transporte de datos de los niveles de capa de aplicación está disponible utilizando el algoritmo de clave simétrica AES-GCM-128, que proporciona cifrado verificado.
- DLMS/COSEM soporta el intercambio local de datos a través de puerto óptico, lazo de corriente o RS-232. La interfaz física se especifica en la IEC 62056-21. La mayoría de los contadores en el mercado soportan

tanto el Modo C usando transferencia de datos en ASCII como el Modo E usando DLMS/COSEM.

- DLMS/COSEM es ampliamente utilizado con intercambio bidireccional remoto a través de diversos medios de comunicación. Las funciones creadas con el modelo de datos COSEM soportan todas las funcionalidades AMI. En combinación con el intercambio de datos bidireccional, DLMS/COSEM soporta AMI.

- **Meters and More**

La tecnología Meters and More es una evolución del Telegestore. El protocolo soporta comunicación local y remota con el campo de dispositivos. Sus características: (*Smart Grid y Evolución de las redes eléctricas, 2016*).

- Adoptar, mantener y desarrollar un protocolo de comunicación abierto para soluciones de medición inteligente.
- Promover la existencia de dispositivos, aplicaciones y servicios interoperables promoviendo las especificaciones abiertas.
- Proporcionar un proceso de certificado que asegure el cumplimiento de las especificaciones de Meters and More de los productos ensayados.
- Apoyo a la estandarización de la medición inteligente.

El sistema central Meters and More comunica a través de la red pública de telecomunicación (GSM/GPRS, PSTN y satélites) con un concentrador de baja tensión (BT) instalado en cada subestación de media tensión (un concentrador por transformador). El concentrador es capaz de gestionar la comunicación en ambas direcciones: hacia el sistema central Telegestore y hacia los contadores electrónicos (vía PLC).

La aplicación Meters and More se inició en 2001 basándose en estudios y experimentos llevados a cabo durante la década anterior. Se utilizan dos implementaciones del protocolo de comunicación a través de PLC, que difieren en las capas **PHY y MAC**, pero comparten la capa de aplicación. De esta manera las dos implementaciones son completamente transparentes desde el punto de vista del sistema central. Una implementación se basa en una extensión del protocolo LonWorks/LonTalk®, mientras que la otra se basa en el conjunto llamado Sitred. Ambas implementaciones están actualmente en uso. (*Smart Grid y Evolución de las redes eléctricas, 2016*)

El protocolo Sitred implementa las capas físicas, de enlace y de aplicación (1ª, 2ª y 7ª de la norma ISO). Algunas funcionalidades, típicas de capas no implementadas, se incluyen en la capa de enlace y la de aplicaciones. (*Smart Grid y Evolución de las redes eléctricas, 2016*)

- **Capa física:** En esta capa el protocolo Sitred gestiona un perfil de modulación FSK basado en IEC 61334-5-2. Se lleva a cabo una mejora sobre el rango de datos, de 2400 bps a 1200 bps.

- **Capa de enlace de datos:** Sitred ejecuta funciones de repetición para mejorar la accesibilidad del contador y el modo para acceder al modo principal maestro/esclavo. Además, esta capa es capaz de manejar múltiples capas de aplicación. Está basada en la IEC 61334-4-32 y IEC 61334-4-33.

- **Capa de aplicación:** Sitred implementa todas las características necesarias para implementar el intercambio de datos entre nodos de la red de una manera exhaustiva. Además, implementa algunas funciones de gestión de la red. A este nivel, con respecto a la gestión de la seguridad de los datos, Sitred soporta cifrado, comprobación de claves y reproducción de ataques.

El sistema Meters and More se diseñó para soportar no solo la lectura de contadores sino también una gestión completa del contrato (y del cliente), teniendo como objetivo mejorar la calidad de los servicios ofrecidos mientras se reducen los costes operacionales relacionados con el campo de órdenes de trabajo en las instalaciones del cliente.

Las claves de las capacidades funcionales proporcionadas por esta tecnología mediante el Telegestore son:

- Lectura remota de los registros del contador, tanto a petición como siguiendo una programación predefinida.
- Control de cambios remotos en los parámetros contractuales, en caso de modificación o cancelación del contrato.
- Control remoto de desconexión y “autorización” del interruptor local para la reconexión por el cliente (por motivos de seguridad).
- Sincronización del reloj de los nodos de la red.
- Gestión de alarmas de todos los nodos de la red.
- Actualización del firmware de los componentes de manera remota.
- Detección y prevención del fraude.
- Gestión de contratos prepago.
- Monitoreo de la calidad de suministro para cada cliente (número y duración de las interrupciones del servicio).

- Gestión de la curva de carga.
- Balances de energía (comparativa entre la energía suministrada por cada transformador MT/BT y la energía total suministrada a los clientes).
- Desconexión de la carga.
- Disponibilidad para uso del cliente de información sobre el consumo de energía y cuestiones técnico-comerciales.
- Adaptación automática de los cambios de la red y control de la disponibilidad de contadores.

## Capítulo III

### 3.1 Características técnicas – económicas de una red AMI

La infraestructura de telecomunicaciones a desarrollarse en Estelí debería contar con una serie de características que le permitan obtener y canalizar de forma eficiente y en tiempo real toda la información que requieren las redes inteligentes de distribución eléctrica.

A continuación, se citan los requisitos más importantes para hacer posible que la infraestructura sea económicamente viable y garantice el funcionamiento fiable de todo el sistema. (Cordón, C. 2014).

- Ubicuidad: como consecuencia a la generación distribuida, la ubicación de los dispositivos a comunicar será muy dispersa, la red debe ser capaz de llegar a todos ellos.
- Interoperabilidad: ya que toda la infraestructura de comunicaciones que dará soporte a las redes inteligentes integrará el uso de varias tecnologías, todas ellas deben tener una cierta flexibilidad para permitir la interoperabilidad de las aplicaciones del sistema.
- Larga vida útil: los medidores inteligentes y las tecnologías de comunicación que los apoyen deberían ser capaces de estar aproximadamente 10 años sin necesitar sustitución de componentes. Por tanto, deben estar diseñados de tal manera que soporten condiciones medioambientales extremas tales como corrosión, temperatura o humedad, siendo también crítico el uso de tecnologías de comunicación de larga vida útil.
- Escalabilidad y adaptabilidad: con intención a hacer frente a futuros cambios o ampliaciones, las redes deben estar diseñadas para permitir su fácil ampliación. Asimismo, será necesario facilitar la rápida adaptación de las redes a los avances tecnológicos que vayan surgiendo

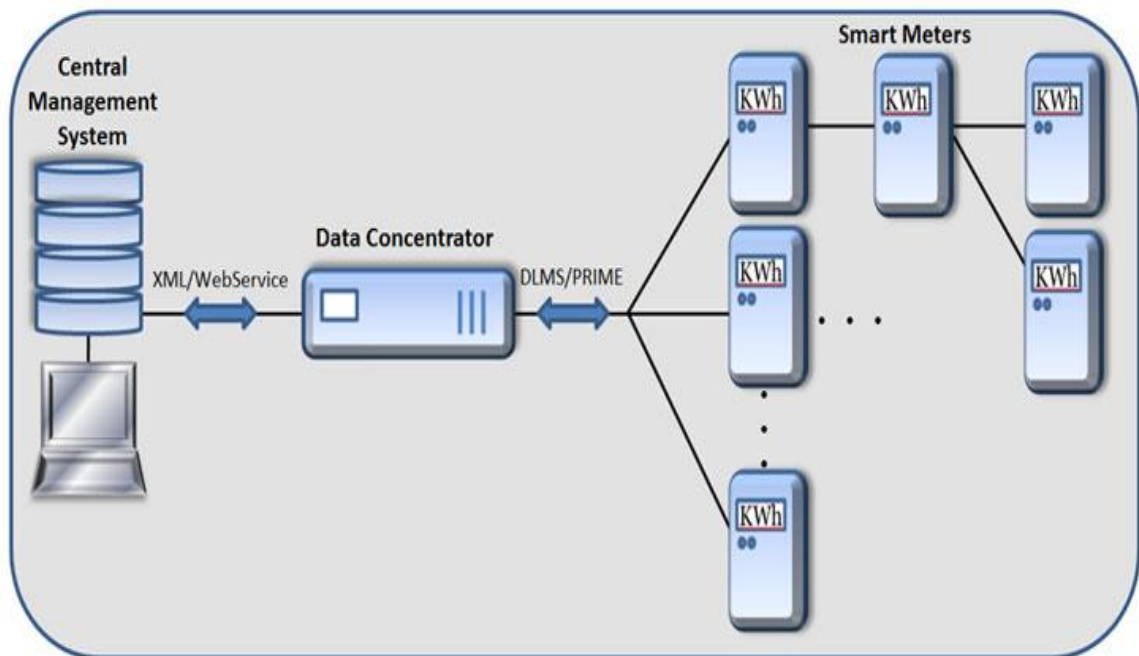


- Robustez: es necesario para alcanzar la larga vida útil ya mencionada. Además, deberá ser capaz de soportar una gran cantidad de datos procedentes de cientos de contadores
- Resiliencia: es una de las características principales que identifican a las nuevas redes inteligentes, éstas serán capaces, en cierta medida, de poseer una autogestión de incidencias que le permita minimizar la parada de funcionamiento ante pequeños problemas
- Económicamente viable: deben minimizarse los costos. El costo conlleva la instalación del equipo de medida (contadores inteligentes, centro de control, concentrador de datos). Aspectos importantes en esta minimización de costos son que las redes deben ser de bajo consumo, es decir, que sea un sistema de comunicaciones eficiente energéticamente, ya que, aunque represente una pequeña cantidad de consumo de energía, cuando se instalen a gran escala supondrá una cantidad considerable.
- Seguridad: la red transmitirá datos relevantes del consumo de energía de cientos de clientes y también señales de control usadas para la estabilización y optimización de la red; por tanto, la seguridad del sistema es una de las tareas más importantes. La seguridad de la misma abarca varios aspectos:
  - a. Autenticidad y disponibilidad de los datos cuando sea necesario.
  - b. Confidencialidad y privacidad de datos
  - c. Fiabilidad: el sistema debe garantizar que se realizan todas las tareas correctamente.
- Latencia: sus valores variarán dependiendo de la aplicación de las Smart Grids. Es uno de los factores decisivos a la hora de considerar viable o no una tecnología.

En lo referido a la medición avanzada, el valor de latencia máximo es de 15 minutos para la lectura de medidores, ya que es con esta frecuencia de tiempo con la que se necesita obtener los datos de los diferentes componentes de la red

### 3. 2 Arquitectura de red de medidores inteligentes para Estelí

La Fig. 14 describe brevemente las características principales de un Sistema de comunicaciones para una infraestructura de medición avanzada.



*Figura 14.* Arquitectura de contadores inteligentes. Derechos de autor (2015) por ABC Sobre contadores inteligentes. Reimpreso con permiso.

La arquitectura para contadores inteligentes está diseñada de tal manera que se conecte al cliente y a la vez permita el monitoreo y control del head-End. Consta de 3 nodos principales:

- El sistema Head-End, también conocido como sistema central de gestión de datos.
- El concentrador de datos (CD) que se encuentra en el centro de transformación.
- Medidores eléctricos inteligentes

### 3.2.1 Sistema Central De Gestión de datos

El sistema Smart MDM proporciona una infraestructura de información común para recibir lecturas de medidores de diferentes tipos de marcas y sistemas AML, procesar las lecturas para producir datos de cantidad de facturación, almacenar y administrar datos y proporcionar interfaces de acceso a dichos datos a los dueños de negocios de Estelí. (*Inhemeter. Software de un sistema central. Recuperado de <http://www.inhemeter.com/html/sp/index.php?ac=article&at=read&did=1252>*)

- **Beneficios del sistema Smart MDM :**
  - Fácil de usar, interfaz basada en web.
  - Modelado en base del concepto de punto de servicios
  - Consta con reglas de validación de datos y reglas configurables.
  - Parámetros configurables y automatizados de la entrega de datos
  - Funciones de gestión de recolección de datos del medidor
  - Gestión de activos
  - Sistema de Auditoria y control de versión
  - Métodos de agregación y cálculo
  - Seguridad alto nivel
  - Alta disponibilidad
  - Alta escalabilidad
  - Diseño de módulos
  - Fácil de extender
  - Alta flexibilidad

- **Función y características del sistema :**

- Apoya abundantes funciones de VEE (validación, estimación, edición)
- Gestión de datos que incluye agregación, facturación, versión de datos y seguimiento auditoría.
- Sistema de gestión de carga que incluye control de carga fija, control de carga dinámica y control de carga directa
- Análisis de pérdida de cables para una sección de la red de energía o en un transformador
- Gestión de activos
- Gestión de soporte avanzado de clientes
- Gestión de operación y mantenimiento
- Indicación y análisis de corte de energía
- Multi-plataforma: sistema Disponible para sistemas operativos Unix, Linux y Windows.
- Base de datos MySQL, Oracle y Ms SQL



Figura 15. Interfaz gráfica de un sistema MDM Cliente/Servidor. Derechos de autor (s,f) por Inhemeter. Reimpreso con permiso.

El transporte de datos de forma bidireccional entre el concentrador de datos y el sistema central de gestión de datos se hará mediante enlaces de Fibra Óptica.

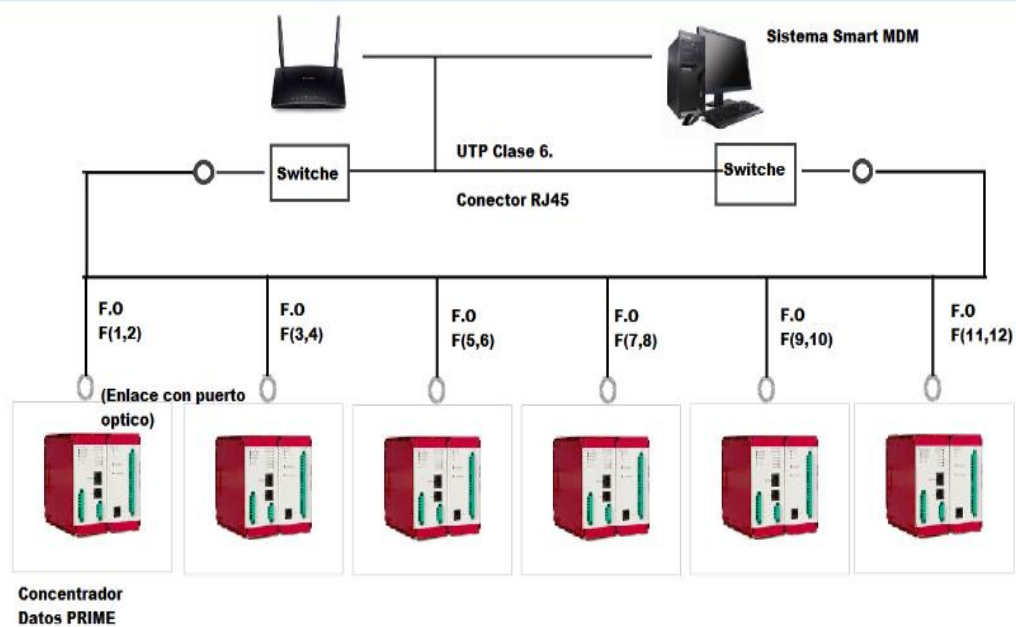


Figura 16. Comunicación entre el sistema smart MDM y Concentrador datos. Elaboración propia

La Fibra Óptica es el medio de transmisión de datos que ha revolucionado las comunicaciones, introduciendo condiciones muy ventajosas.

La Fibra Óptica consiste en un hilo de vidrio o silíceo muy fino, del espesor de un cabello, por el que se transmiten impulsos luminosos que suelen provenir de un láser o diodo LED. Esto permite una transmisión de datos muy rápida, sin interferencias y con la conexión simultánea de varios dispositivos a Internet, sin ninguna pérdida significativa de velocidad. (Gandía, C. 2015).

Los hilos de Fibra Óptica, sumamente finos y fáciles de romper, se reúnen en haces y se engloban en la estructura protectora de un cable, que sirve de refuerzo y aislamiento, protegiéndolos de la humedad, calor o frío. De este modo consiguen una consistencia mecánica que permite manejarlos de manera óptima para su instalación

- **Características:**

- Velocidad
- Totalmente inmune a las interferencias y perturbaciones electromagnéticas
- Ligereza
- Versatilidad
- Su reducido tamaño y peso permite instalarse en cualquier tipo de canalización existente o nueva

Por último, cabe señalar otra característica muy importante de la Fibra Óptica, como es la fácil localización de las averías en el tendido. Al depender la transmisión de datos de la existencia de un flujo continuo de impulsos luminosos, existe un proceso basado en la telemetría que permite detectar de forma rápida la incidencia.

### **3.2.2 Concentrador de datos**

El concentrador de datos seleccionado es el PLC1000-M, es el elemento principal de los sistemas de medición inteligente, con protocolo **PRIME**. La función principal del concentrador PLC1000-M es gestionar la red de distribución eléctrica mediante medidores de energía electrónicos que dispongan de la tecnología **PRIME**. Esta obtención de datos se realiza utilizando el cable eléctrico de la red de distribución como medio, lo que se conoce como 'Comunicaciones PLC' (Power Line Carrier). El protocolo PLC utilizado por el concentrador es el estándar PRIME.

El concentrador PLC1000-M se instala en el centro de transformación disponiendo de un puerto de comunicaciones Ethernet, que ofrece la opción de acceder a la información e interactuar con el sistema de gestión y control mediante el acceso a la página WEB del concentrador o bien mediante Smart

MDM. El concentrador también dispone de un puerto RS485, destinado a comunicaciones serie con otros dispositivos.

Al ser un sistema Plug&Play, los contadores de energía eléctrica son detectados automáticamente por el concentrador PLC1000-M. Mediante la gestión de tareas totalmente configurables por el usuario, a través de la página WEB, permite descargar todos los datos en memoria del contador, como por ejemplo las curvas de carga de energía, eventos o cierres de facturación.

El concentrador PLC1000-M ofrece también la posibilidad de enviar esta información de forma automática a un servidor. Además, dispone de varias funciones específicas para gestionar la demanda de energía eléctrica, el control de pérdidas y la detección de fraude. Todas estas opciones permiten realizar un mantenimiento preventivo y un seguimiento en detalle del comportamiento de la red de distribución eléctrica.



*Figura 17.* Concentrador de datos PLC1000-M. Derechos de autor (s,f) por Circutor. Reimpreso con permiso.

**Tabla 7***Características del Concentrador de datos PLC1000-M*

<b>Características</b>	
<b>Alimentación</b>	
Tensión de Trabajo	100 V a 240 Vac
Consumo	~7 W y ~13 VA
<b>PLC - Comunicaciones Eléctrica</b>	
Tipo	OFDM con sistema de repetidores (PRIME)
Hardware	CENELEC A
Conexión	4 hilos (3 fases + Neutro)
Índice de protección	4 hilos (3 fases + Neutro)
<b>Memoria de Datos</b>	
Tipo	FLASH (Tarjeta SD)
Capacidad	2 Gb
<b>Batería</b>	
Tipo	Litio
Posición	Interna
Vida útil	> 20 años @ 25 °C
<b>Comunicaciones</b>	
Tipo puerto	Ethernet
Conector	RJ-45
Protocolo	IEEE 802.3
Velocidad	10/100 Mbits
<b>Tipo puerto</b>	
Conector	<b>Serie</b> RS-485
<b>Condiciones ambientales</b>	
Temperatura de trabajo	-20 ... +70 °C
Temperatura almacenamiento	-40 ... +85 °C
Humedad	95% (sin condensación)
Altura máxima	2000 m
<b>IP por defecto</b>	
IP:	192.168.42.30
Puerto:	80
Mascara de red:	255.255.255.0

Nota. Recuperado de Contadores multifunción de energía eléctrica. Derechos de autor (s,f) por Circutor.  
Reimpreso con permiso.



## **Normas**

IEC 61000-4-2, IEC 61000-4-3, IEC 61000-4-4, IEC 61000-4-5, IEC 62052-11, IEC/CISPR 22, UNE-EN 50470

Toda la configuración del concentrador PLC-1000M se realiza mediante la página WEB del concentrador, por lo que no será necesario ningún software adicional para la puesta en marcha. Será necesario para la configuración del concentrador un ordenador con puerto Ethernet y un cable de red del tipo cruzado.

Para poder acceder al concentrador, en la página principal se deberá de introducir un usuario y contraseña.

### **Administrador:**

- Username: admin
- Password: admin.

### **Usuario de lectura:**

- Username: user
- Password: user

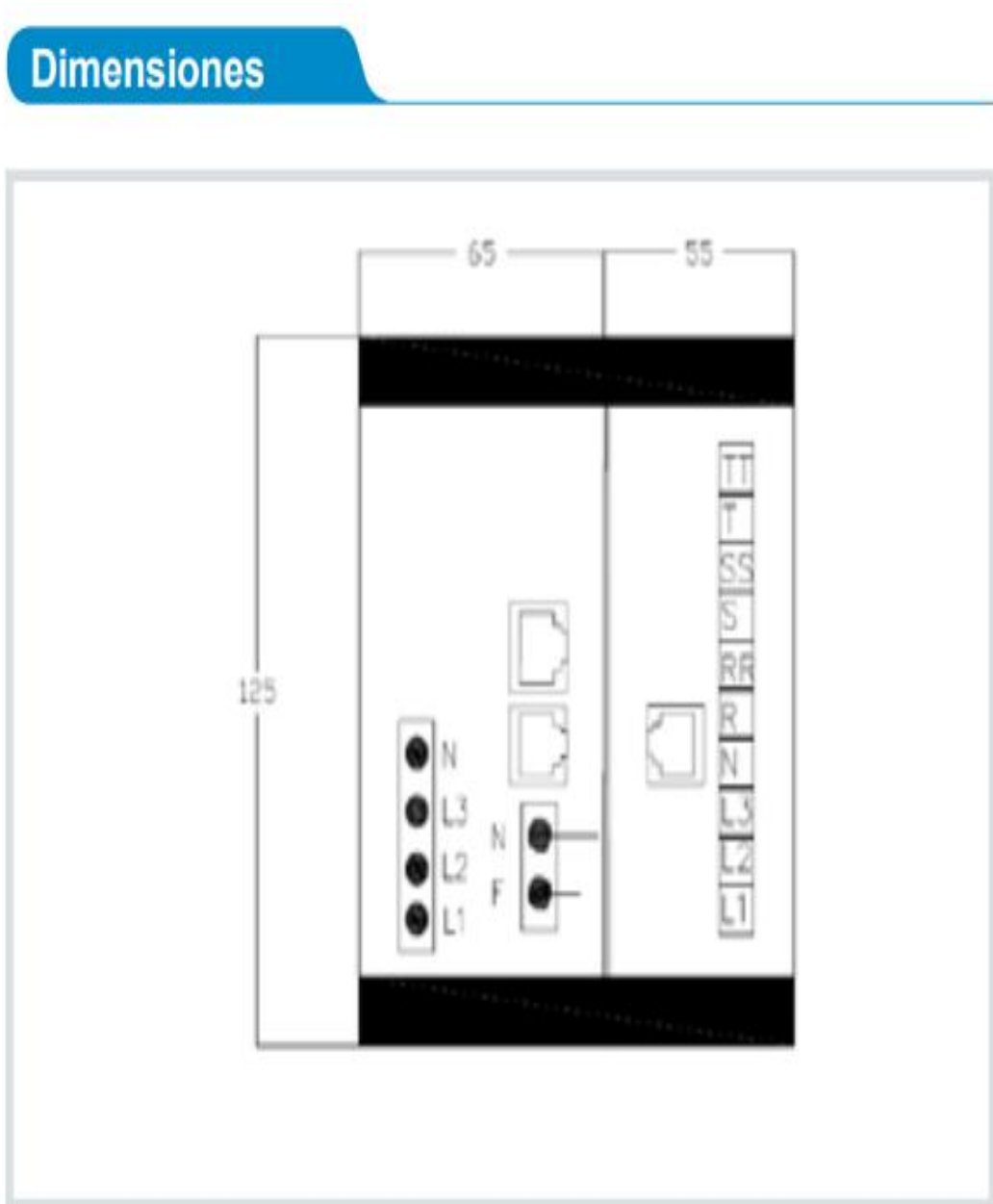
Para realizar la debida comunicación entre el concentrador de datos y el sistema de gestión y control de datos necesitaremos incluir para cada concentrador un módulo adicional **Lector Óptico LOC**. El fabricante CIRCUTOR PRIME dispone de un cabezal óptico como complemento imprescindible para la comunicación bidireccional entre el concentrador y el sistema de gestión.

## **Modelos**

Q30301	LOC Lector óptico Conector LC.
--------	--------------------------------

- **Dimensiones**

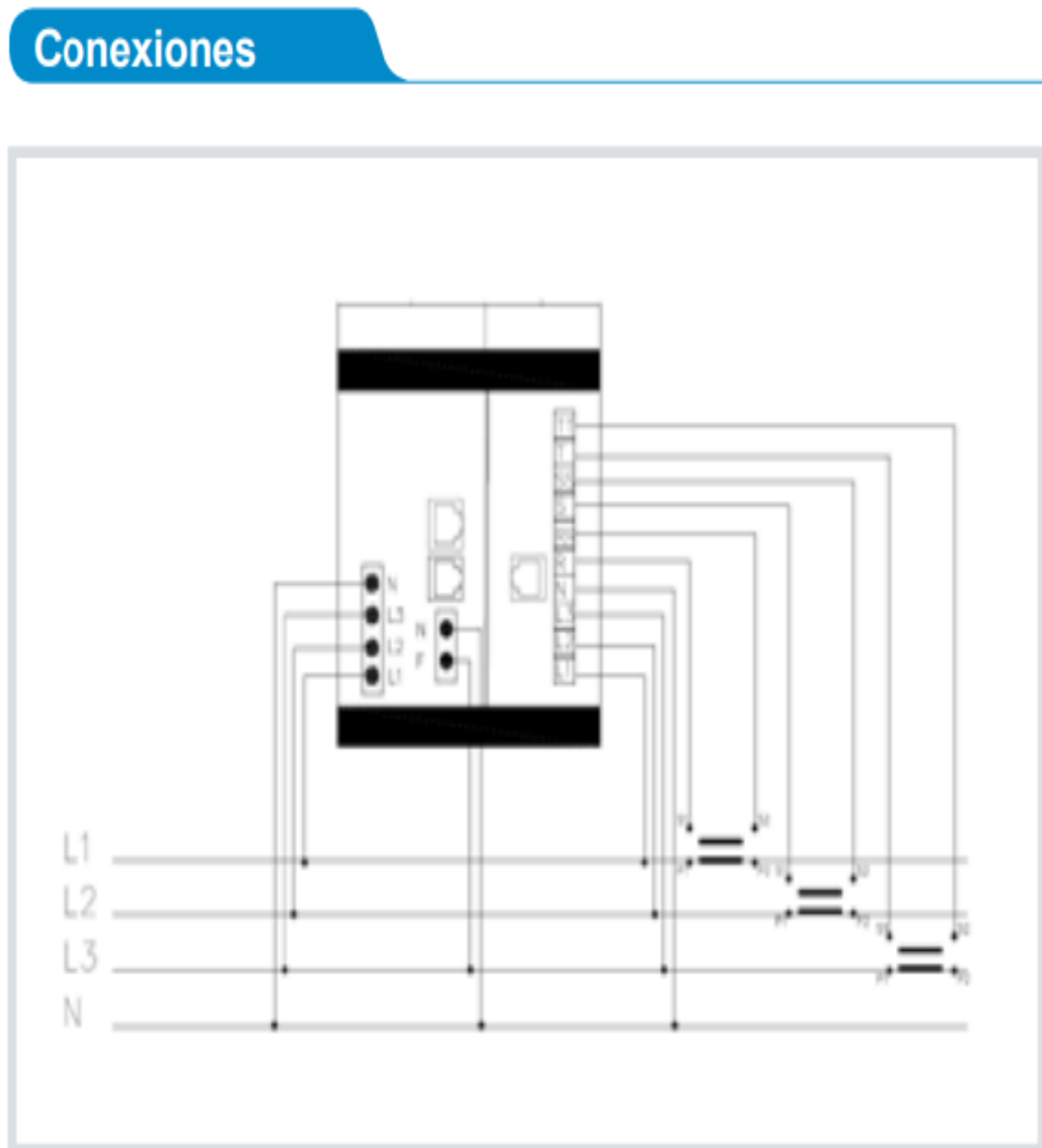
En la Fig. 18 observamos las dimensiones de nuestro Concentrador Prime Circutor.



*Figura 18.* Dimensiones de Concentrador Circutor PLC1000-M. Derechos de autor (s,f) por Circutor. Reimpreso con permiso.

## Conexiones

En la Fig. 19 observamos las conexiones correspondientes para el concentrador circutor:

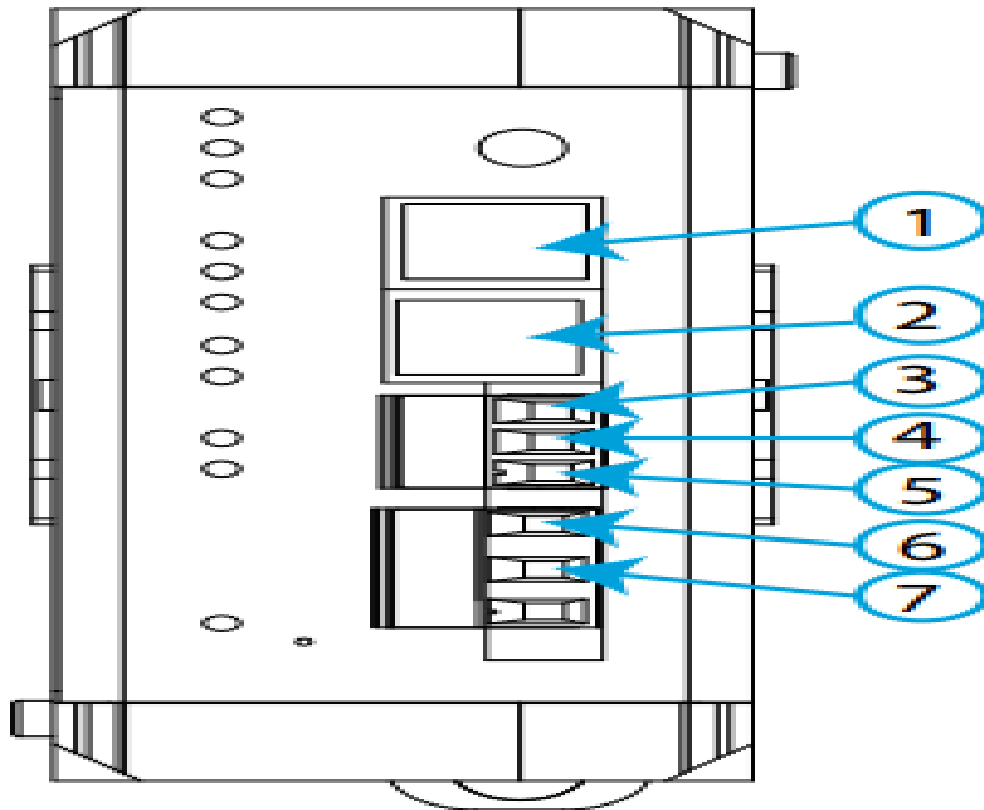


*Figura 19.* Conexiones de Concentrador Circutor PLC1000-M. Derechos de autor (s,f) por Circutor. Reimpreso con permiso.

- **Dispositivos y accesorios para Concentradores Prime**

- **Modem Router SGE-3G/GPRS**

El SGE-3G/GPRS es un equipo que permite conectar una aplicación de forma local o redes, a Internet a través de conexiones IP. El SGE-3G/GPRS puede conectarse a redes UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) en aquellos casos en los que el lugar en el que se instale disponga de esta tecnología, en caso contrario se conectará vía GPRS (General Packet Radio Service). Con la condición de que la tarjeta SIM instalada tenga los servicios necesarios activados por el proveedor de la misma. (Circutor, 2015)



*Figura 20. Bornes de SGE-3G/GPRS. Derechos de autor (s,f) por Circutor. Reimpreso con permiso.*

En la Tabla 8 se muestra detalladamente la información de cada puerto del SGE-3G

**Tabla 8**

*Relación de Bornes Modems SGE-3G/GPRS*

<b>Bornes del equipo SGE-3G/GPRS</b>	
1:	Comunicaciones Ethernet
2:	Comunicaciones RS-232
3:	B, Comunicaciones RS-485
4:	S, Comunicaciones RS-485
5:	A, Comunicaciones RS-485
6:	N, Alimentación Auxiliar
7:	L, Alimentación Auxiliar

Nota: Elaboración propia.

Para el funcionamiento del SGE-3G/GPRS, deben de cumplirse las siguientes condiciones:

- a. La antena debe de cumplir con los rangos de frecuencia establecidos por cada país.
- b. La tarjeta SIM la debe proporcionar el operador de telefonía móvil, y debe de tener activada la transmisión de datos para su correcto funcionamiento. A la hora de insertar la tarjeta SIM, el código PIN debe de estar desactivado.

Será necesario para la configuración del equipo, un ordenador con puerto Ethernet y un cable de red del tipo RJ-45.

La IP por defecto del equipo es:

IP: 192.168.1.1  
Mascara de red: 255.255.255.0

Para poder acceder al SGE-3G/GPRS, a través de página web es necesario utilizar el protocolo seguro de web (HTTPS).

En la parte trasera del SGE-3G/GPRS se coloca la tarjeta SIM. Se debe de presionar el botón de la ranura para la extracción del soporte de la tarjeta.



*Figura 21.* Ranura de sim card del SGE-3G/GPRS. Derechos de autor (s,f) por Circutor.  
Reimpreso con permiso.

El puerto de comunicaciones disponible para la conexión con los medidores inteligentes será RS-485 (bornes 3, 4 y 5) ya permite la comunicación con cualquier equipo que utilice este protocolo. La configuración del puerto debe realizarse desde la página web del SGE-3G/GPRS.

#### **- Armario para concentrador Circutor**

Armario de medida en baja tensión, para montaje en exteriores, para un concentrador y módem-router SGE-3G para el acceso remoto. También se integran protecciones de sobretensión y una regleta de comprobación seccionable que nos permite acceder a los bornes del Concentrador. En la envoltura del concentrador, hay espacio disponible para añadir módulos adicionales, tales como un segundo concentrador, supervisor o los módulos de entradas de señales.



*Figura 22. Armario CMBT COMPACT PT para exteriores. Derechos de autor (2016) por PRIME Circutor S.A. Reimpreso con permiso.*

### **Elementos del Armario CMBT PRIME COMPACT PT**

- Concentrador Compact DC PRIME
- Contador supervisor de BT (integrado en el concentrador)
- Interruptor de corte en carga.
- 1 transformador compacto TRMCx3 o tres transformadores individuales.
- Protector sobretensiones
- Bornero de comprobación seccionable de 10 elementos.
- Interruptores magnetos térmicos de 2 y 4 polos
- Módem 3G (según modelo)

En la Fig. 23 se destaca la comunicación entre el concentrador y los dispositivos de control asociados a su red.

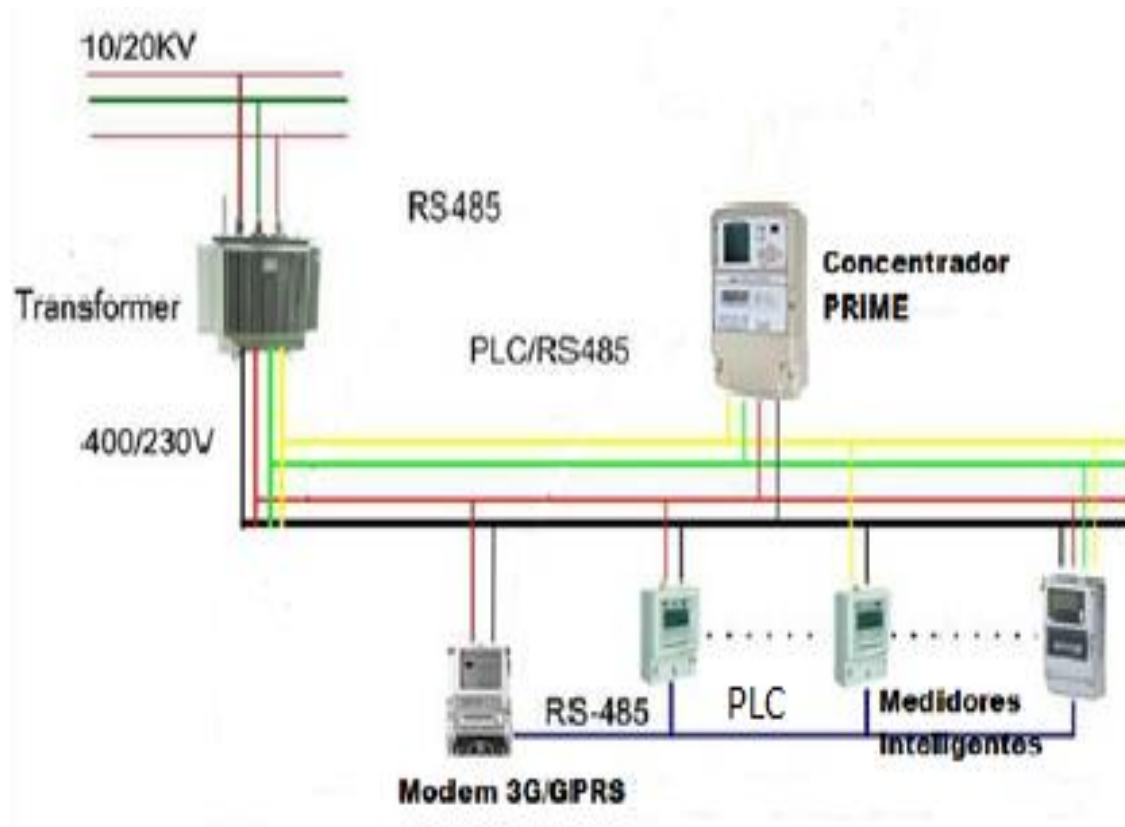


Figura 23. Interconexión de Concentrador y sus dispositivos de control. Elaboración propia.

### 3.2.3 Medidor eléctrico inteligente

El medidor que más se adecua a este prototipo de red para la ciudad de Estelí es el CIRWATT B 200 RCP debido a su bajo costo y características técnicas.

El CIRWATT B 200 RCP es un contador monofásico digital multifunción de clase B en medida de energía activa, y clase 2 para la energía reactiva. Este contador cumple la normativa europea actual EN-50470-1 y EN-50470-3 hecho que aprueba la instalación de estos medidores en cualquier país del mundo.





*Figura 24. Medidor CIRWATT B 200 RCP. Derechos de autor (s,f) por Circutor.  
Reimpreso con permiso.*

Dispone de comunicaciones PLC / PRIME a través de la red eléctrica. Ambas comunicaciones utilizan protocolo DLMS. Dispone de un registrador de hasta tres meses de registros horarios.

- **Aplicaciones**

La aplicación principal es la de la medida de la energía activa y reactiva para la facturación, tiende a ser un medidor de altas prestaciones con costos optimizados. La comunicación PLC proporciona la descarga de datos registrados a distancia a través del concentrador PLC 1000-M.

El elemento de corte integrado en el medidor permite la gestión a distancia del suministro energético.

En las tablas 9 y 10 se citan todas las características técnicas del medidor CIRWATT B 200 RCP

**Tabla 9**

*Características I del Medidor CIRWATT B 200 RCP*

<b>Características</b>	
<b>Alimentación</b>	
Tensión nominal	110v-230v
Tolerancia	80, 115% Un
Consumo	2 W, 10VA
Frecuencia	50 y 60 Hz
<b>Medida de Tensión</b>	
Conexionado	Asimétrico
Tensión de referencia	230v
<b>Medida de Intensidad</b>	
Corriente nominal de referencia	10 A
Corriente máxima	60 A
Corriente de arranque	0.04 A
Corriente mínima	0.5 A
Consumo circuito corriente	0.024A – 10 A
<b>Memoria</b>	
Datos	Memoria no volátil
Eventos	Serial Flash
<b>Batería</b>	
Tipo	Litio
Vida útil	Entre 20 y 30 años
<b>Reloj</b>	
Tipo	Calendario Gregoriano
Fuente	Oscilador compensado en temperatura

Nota. Recuperado de Contadores multifunción de energía eléctrica. Derechos de autor (s,f) por Circutor.  
Reimpreso con permiso.

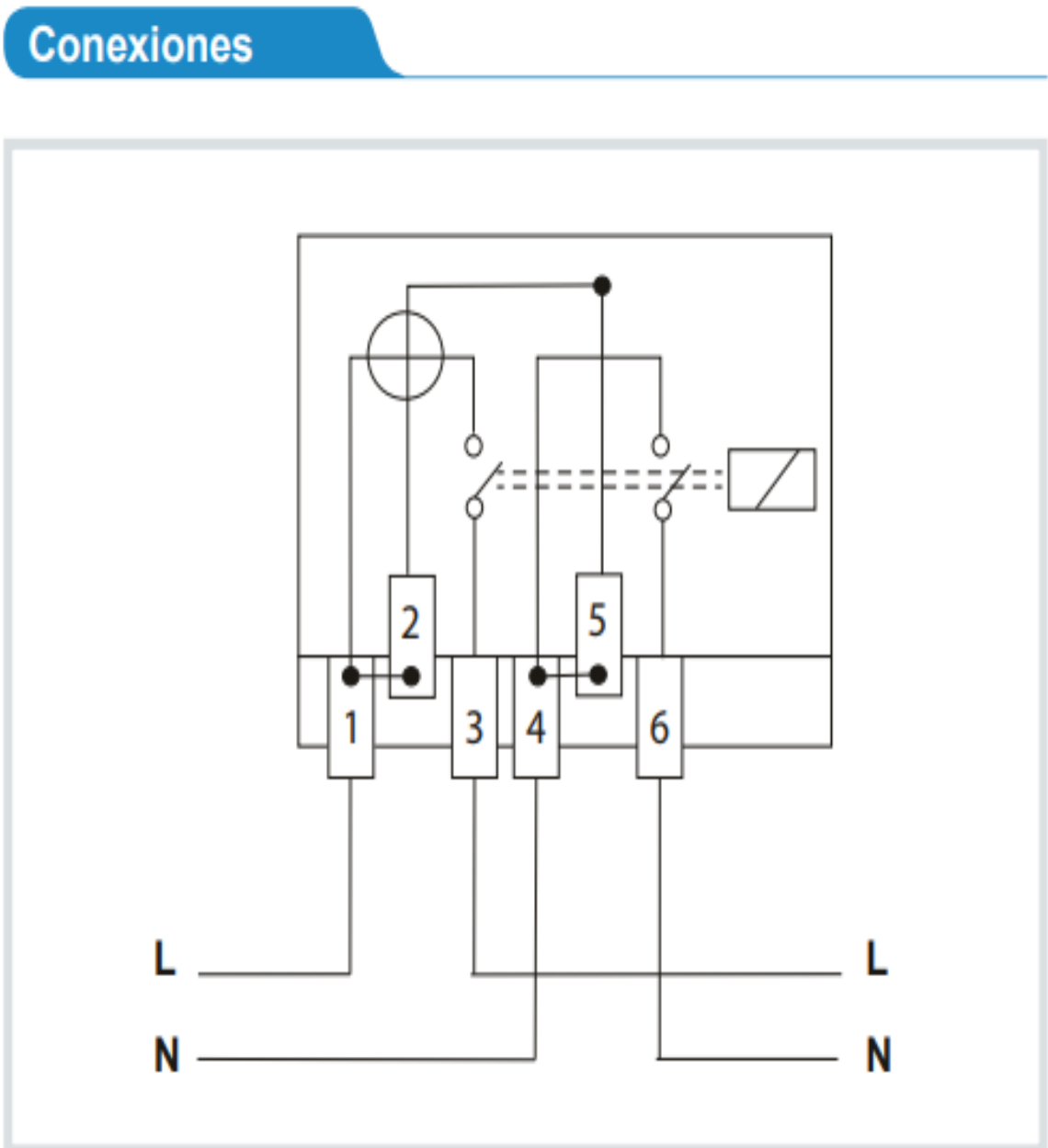
**Tabla 10***Características II del Medidor CIRWATT B 200 RCP*

<b>Características</b>	
<b>Influencias del entorno</b>	
Rango de temperatura	-25 hasta 70 C
Rango de temperatura almacenamiento	-40 hasta 80 C
Humedad	95% max
<b>Display</b>	
Tipo	LCD
Numero dígitos de datos	hasta 6
Tamaño de dígitos de datos	9mm
Lectura en ausencia de tensión	Si
<b>Interfaz de comunicación óptico</b>	
Tipo	Serie Bi-direccional
Hardware	IEC 62056 – 21
Protocolo	IEC 870-5-102
<b>Detector de Intrusismo</b>	
Detección	Apertura tapa cubre bornes
Tipo	Micro interruptor
<b>Características Mecánicas</b>	
Conexión	Asimétrica
Grado IP (IEC 60529)	IP 51
<b>PLC</b>	
Sistema de modulación	OFDM con repetidores
Hardware	CENELEC – A
Protocolo	DLMS / PRIME

Nota. Recuperado de Contadores multifunción de energía eléctrica. Derechos de autor (s,f) por Circutor.  
Reimpreso con permiso.

- **Conexiones**

En la Fig. 25 se observa las conexiones internas del medidor CIRWATT B 200 RCP

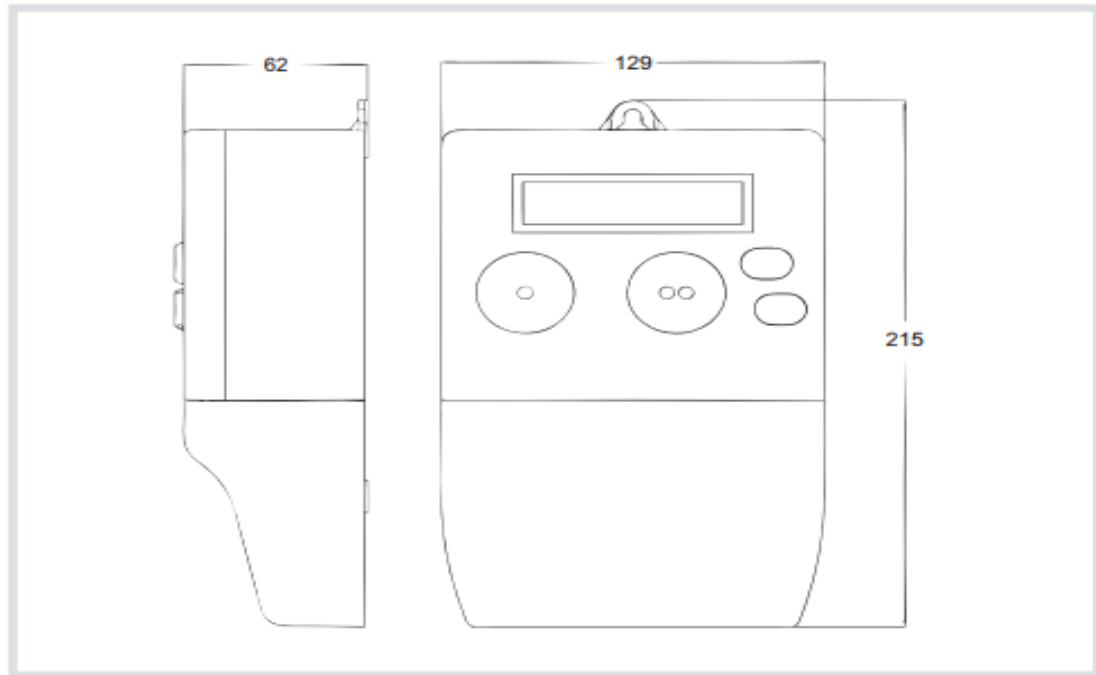


*Figura 25. Conexiones eléctricas internas del CIRWATT B 200 RCP. Derechos de autor (s,f) por Circutor. Reimpreso con permiso.*

- **Dimensiones**

En la Fig. 26 se observa las dimensiones del medidor CIRWATT B 200 RCP

### Dimensiones



*Figura 26.* Dimensiones del CIRWATT B 200 RCP en mm. Derechos de autor (s,f) por Circutor. Reimpreso con permiso.

Este prototipo de red para la instalación de medidores eléctricos en los negocios de la ciudad de Estelí provee 4 elementos importantes:

**Abierta:**

Los equipos a utilizar usan un protocolo abierto para la comunicación

**Eficiente:**

Aprovecharía al máximo la infraestructura de red eléctrica actual

**Robusta:**

Los equipos han sido seleccionados para garantizar nuevas funcionalidades y con una vida útil promedio de 15 años.

### Confiable:

La comunicación PLC empleada garantiza el acceso a la información en los medidores.

En la **Fig. 27** se ilustra un esquema completo a la solución de medición inteligente que abarca desde el sistema de gestión y control hasta los medidores eléctricos.

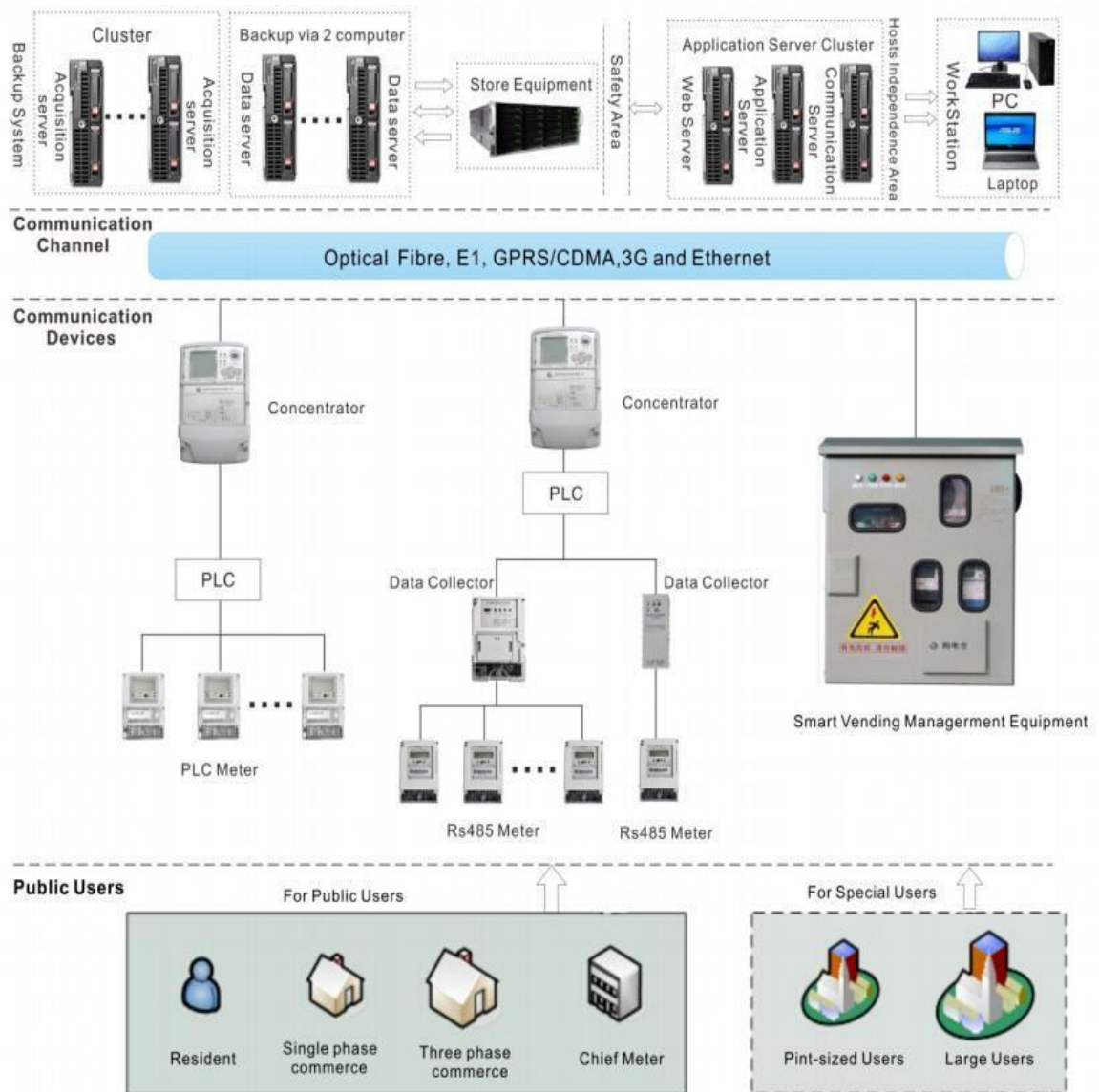


Figura 27. Arquitectura completa de un sistema AMI. Derechos de autor (2015) por Shenzhen Golden Square Technology Corporation (Gst). Reimpreso con permiso.

## Capítulo IV

### 4.1 Diseño y alcances de una red AMI en el área comercial de Estelí

#### 4.1.1 Generalidades

Este capítulo abarca términos importantes en cuanto a diseño, construcción, costos de materiales y servicios de una red de medidores inteligentes, de la misma manera los alcances de obras para este proyecto dimensionado a pequeña escala.

Los precios aquí descritos para los materiales fueron cotizados en los catálogos de las empresas de Telecomunicaciones Claro y PLC PRIME y en cuanto a costos de servicios fueron cotizados en los catálogos de las empresas contratistas LGB y NACEL. Los precios de materiales y costos de servicio son actualizados al año 2018.

Los alcances de obras para este proyecto están dimensionados a una muestra de 50 negocios escogidos al azar ubicados en la zona central del casco urbano de la ciudad de Estelí.

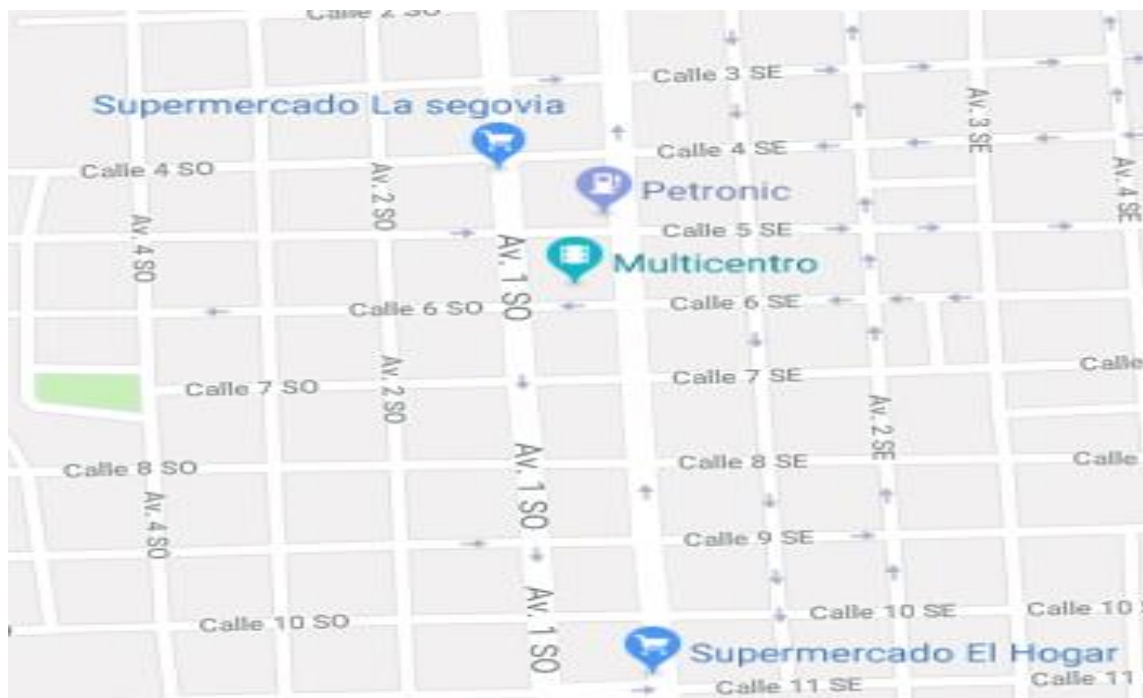


Figura 28. Zona central de Estelí vista desde Google Maps. Elaboración propia.

#### 4.1.2 Tabla de negocios seleccionados

En la tabla 11,12 y 13 se detallan los nombres y coordenadas de los distintos negocios que abarca este proyecto monográfico. Entre ellos realizan diferentes actividades comerciales como gasolineras, bares, talleres, tabacaleras etc.

**Tabla 11**

*Negocios Seleccionados I*

Nombre del Negocio	Latitud	Longitud
Restaurante los Antojitos	13° 5'16.68"N	86°21'26.13"O
Super las Segovia	13° 5'16.90"N	86°21'26.82"O
Buffet Fuente de bendición	13° 5'16.48"N	86°21'23.30"O
Arlen suplidora de Belleza	13° 5'15.79"N	86°21'26.77"O
Air Pak Wester Union	13° 5'15.17"N	86°21'26.21"O
Ferretería la popular	13° 5'15.15"N	86°21'23.61"O
La casa de las piñatas	13° 5'14.20"N	86°21'30.12"O
Sopas el Carao	13° 5'10.59"N	86°21'28.89"O
Almacén Sony	13° 5'13.84"N	86°21'26.72"O
Farmacia Value Estelí	13° 5'11.32"N	86°21'26.55"O

Nota: Elaboración propia.



**Tabla 12***Negocios Seleccionados II*

<b>Nombre del Negocio</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>
Eco Market	13° 5'10.71"N	86°21'26.51"O
Distribuidora Ruiz	13° 5'9.40"N	86°21'25.98"O
Bar Ixcotellix	13° 5'14.25"N	86°21'25.21"O
Taller el Porfi	13° 5'13.75"N	86°21'25.03"O
Rachell Closet	13° 5'11.07"N	86°21'24.48"O
Rachell Closet	13° 5'11.07"N	86°21'24.48"O
Petronic El Carmen	13° 5'14.22"N	86°21'23.80"O
Panadería Delicias	13° 5'7.36"N	86°21'31.24"O
Hostal Azul de la Selva	13° 5'6.66"N	86°21'29.18"O
Jafran Cigars S.A	13° 5'5.22"N	86°21'29.74"O
Habaneros	13° 5'3.60"N	86°21'29.15"O
Restaurante el Mexicano	13° 5'1.29"N	86°21'28.99"O
Delicias del postre	13° 5'7.99"N	86°21'25.83"O
Venta de pacas Miler	13° 5'6.46"N	86°21'25.84"O
Shagul taquería y pupuseria	13° 5'5.10"N	86°21'26.23"O
Chamacos, Cafetería y algo mas	13° 5'2.84"N	86°21'26.15"O
Hotel las Cornisas	13° 5'0.38"N	86°21'26.10"O
Variedades Anyoli	13° 5'7.70"N	86°21'24.15"O
Variedades Johana Avilés	13° 5'7.63"N	86°21'22.91"O
Variedades Francella	13° 5'7.21"N	86°21'23.45"O

---

Nota: Elaboración propia

**Tabla 13***Negocios Seleccionados III*

<b>Nombre del Negocio</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>
Buffet don Juan	13° 5'4.69"N	86°21'23.21"O
Hostal Tomabu	13° 5'3.64"N	86°21'22.66"O
Repuestos Mairena Flores	13° 5'2.56"N	86°21'22.57"O
Textiles Kanan	13° 5'1.43"N	86°21'22.56"O
Daniel Tacos	13° 4'58.98"N	86°21'29.00"O
Hotel Ilusión	13° 4'53.68"N	86°21'29.34"O
Nica Comercial	13° 5'0.09"N	86°21'25.49"O
Tania Salons	13° 4'56.90"N	86°21'25.85"O
Su Carne Estelí	13° 4'54.55"N	13° 4'54.55"N
Talleres Irias	13° 4'57.74"N	86°21'24.45"O
Farmacia Estelí	13° 4'54.62"N	86°21'24.28"O
Asados al Carbón #2	13° 4'59.76"N	86°21'22.51"O
Instacredit	13° 4'59.17"N	86°21'22.94"O
Ferreteria Raudes	13° 4'58.64"N	86°21'22.94"O
Gordicarnes Mercado	13° 4'58.20"N	86°21'23.62"O
Casa Hotel Santa Elena	13° 4'56.84"N	86°21'22.16"O
Restaurante el Mexicano #2	13° 4'56.13"N	86°21'22.15"O
Ferreteria Raudes	13° 4'58.64"N	86°21'22.94"O
Gordicarnes Mercado	13° 4'58.20"N	86°21'23.62"O
Casa Hotel Santa Elena	13° 4'56.84"N	86°21'22.16"O

---

Nota: Elaboración propia.

### 4.1.3 Ubicación geográfica

A continuación, se detalla la ubicación geográfica vista desde Google Earth para cada uno de los negocios.



Figura 29. Ubicación de clientes visto desde Google Earth I. Elaboración propia.



Figura 30. Ubicación de clientes visto desde Google Earth II. Elaboración propia.





Figura 31. Ubicación de clientes visto desde Google Earth III. Elaboración propia.

#### 4.1.4 Recorrido de fibra óptica

El medio de comunicación de datos bidireccional entre los concentradores y el sistema MDM se hará por medio de Fibra Óptica del tipo ADSS. El tipo de construcción será por vía Aérea hacia cada uno de los concentradores. Cabe destacar que se reutilizara la portería existente de Disnorte Dissur para realizar dicho tendido de fibra óptica, únicamente se necesitara la instalación de veinte postes nuevos los cuales diez servirán para intervenir y segmentar el cable de fibra óptica y diez para dejar en punta cada par de hilo destinado a cada concentrador.

En la fig. 32 se detalla el recorrido desde la Central Disnorte Dissur hasta cada uno de los concentradores. El recorrido total de la fibra óptica es de 1,500 metros partiendo desde la central hasta el concentrador 10.



Figura 32. Recorrido de Fibra Óptica Vista desde Google Earth. Elaboración propia.

#### 4.1.5 Diseño esquemático de la Red General

El diseño esquemático de red fue realizado en el software Microsoft Visio 2010 integrando casa uno de los elementos que conforman la red de medidores inteligentes.

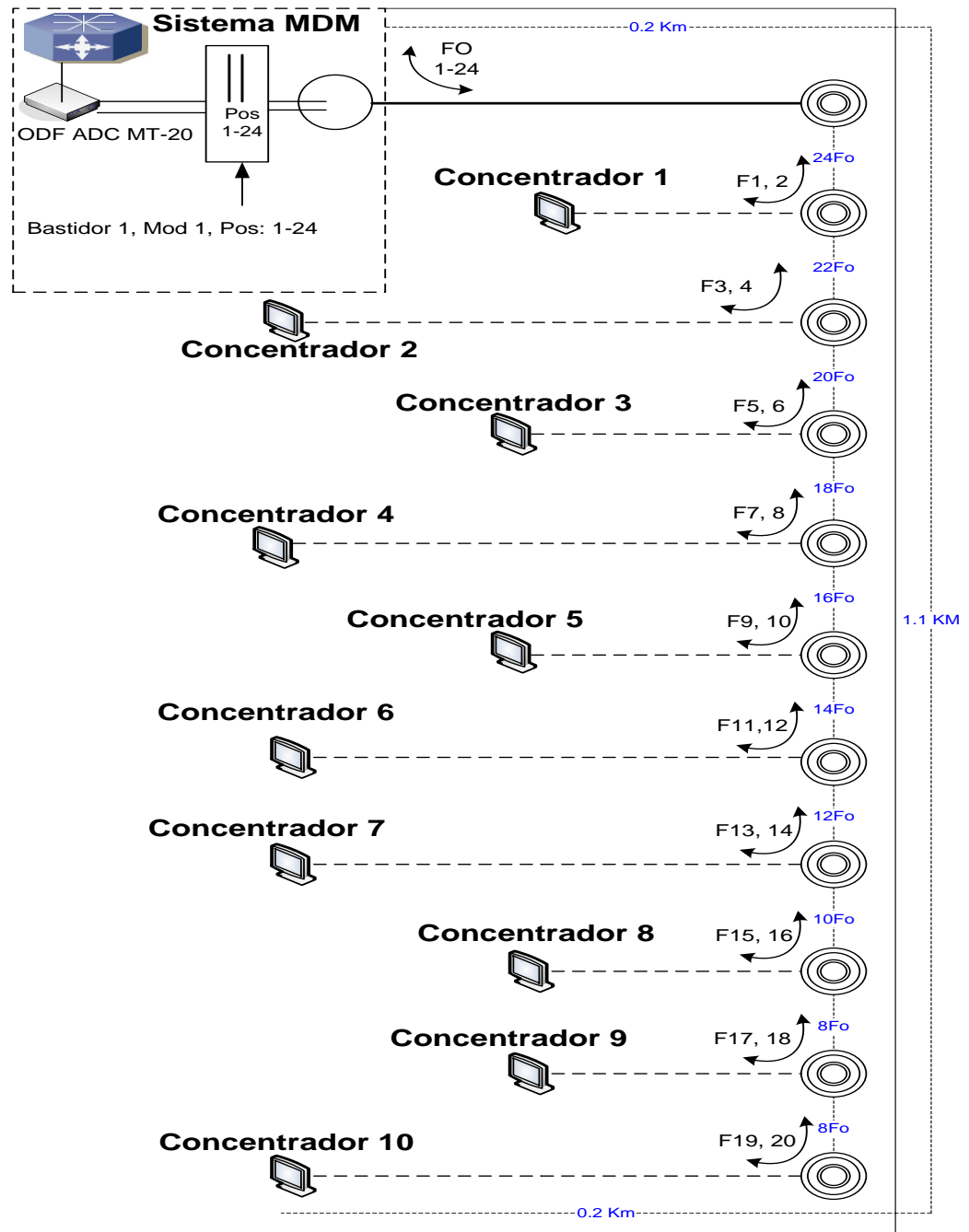


Figura 33. Diseño esquemático de red en Microsoft Visio. Elaboración propia.

#### **4.1.6 Esquemas de instalación**

La medición Inteligente tiene como su principal característica medir la energía, la cual cuenta con tres características especiales:

- Registra el consumo de manera más detallada que los medidores comunes y ofrece funcionalidades que pueden ser aprovechadas en ambientes AMI o AMR.
- Ofrecen interfaces de comunicaciones para enviar y/o recibir datos e información hacia o desde un sistema de gestión administrado por la empresa de servicios
- Cuenta con mecanismos para la conexión y desconexión del servicio brindado.

En la medición inteligente se pueden presentar dos esquemas de instalación, la medida en poste en cajas de medición centralizada y medidores instalados en el predio del cliente, los cuales se comunica por diferentes protocolos de comunicación con el concentrador.

La comunicación entre los medidores y el concentrador se puede hacer a través de una red LAN alámbrica PLC y/o inalámbrica Radio frecuencia (3G/GPRS)

Para el caso que los medidores se comuniquen por radio frecuencia (3G/GPRS) se debe instalar un display espejo en la propiedad del cliente de tal manera que pueda leer los consumos cada vez que desee, esta información debe ser reflejo del medidor que se encuentra en el poste en la caja de medida centralizada.

En las Figura 34 y 35 muestran los dos esquemas de instalación para cada uno de los casos:



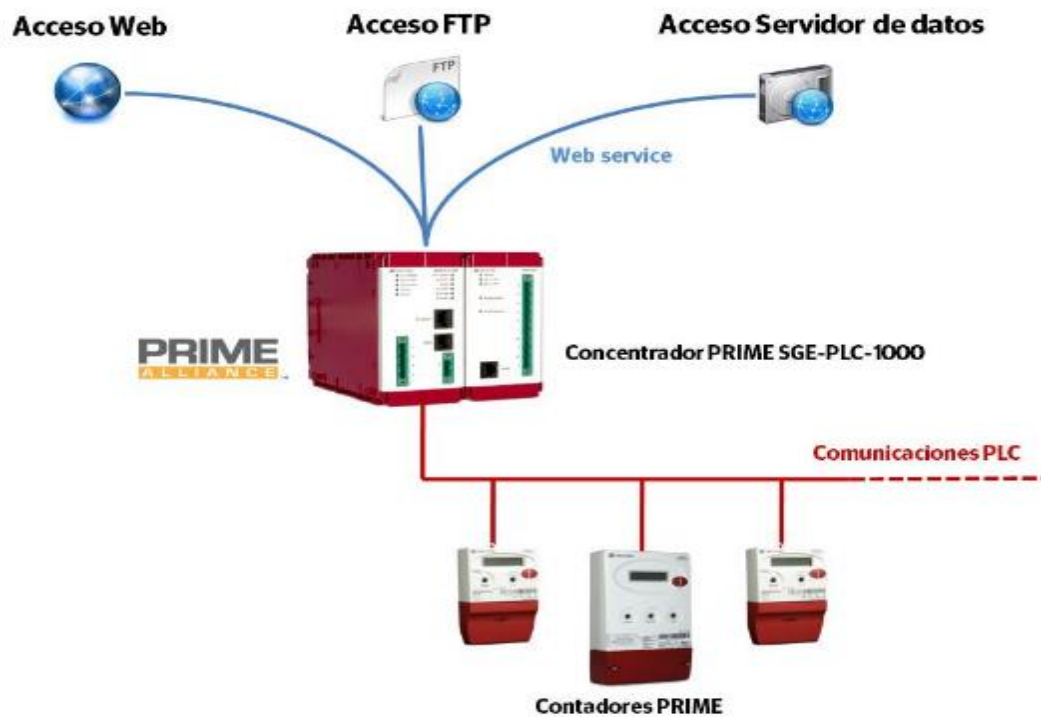


Figura 34. Interconexión de concentrador con red de contadores mediante PLC y sistema smart. Derechos de autor (s,f) por Circutor. Reimpreso con permiso.

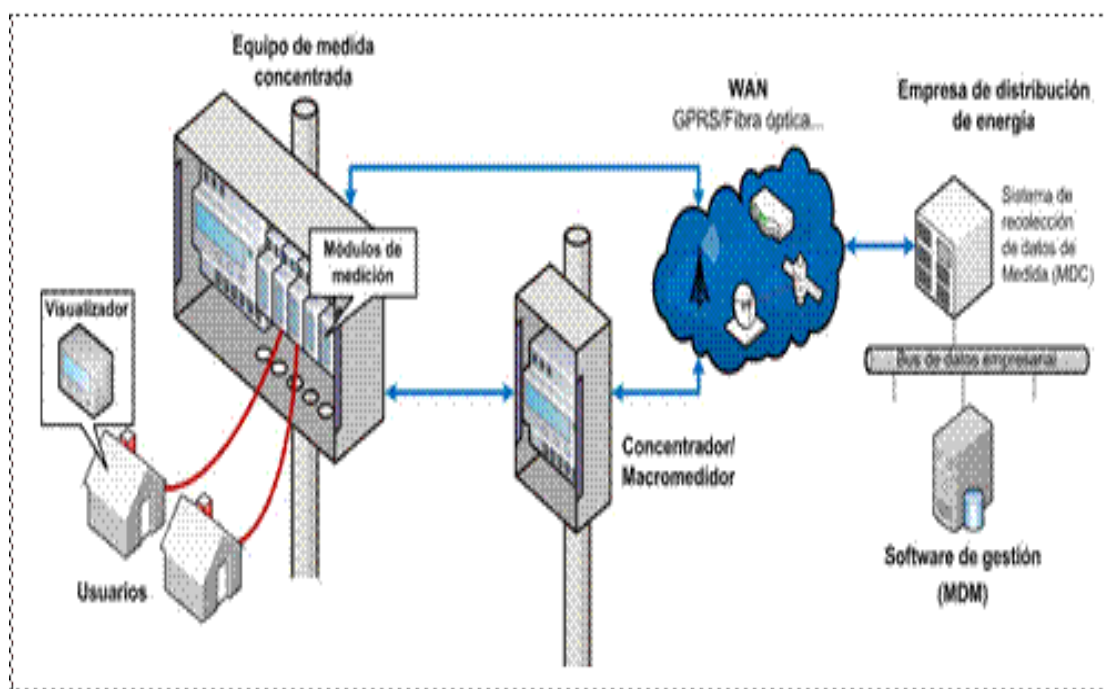


Figura 35. Comunicación por Radio Frecuencia (3G/GPRS). Derechos de autor (2015) por Visor Redalyc. Reimpreso con permiso.



#### 4.1.7 Diseños del plano de red PLC Concentrador – Medidor

Teniendo en cuenta los dos parámetros de instalación decidí diseñar y construir la red en base al esquema de instalación (ver Fig. 34).

El diseño - Plano de la Red - fue realizado en el software Bentley – MicroStation V8 tomando la cartografía del sitio en google earth.



Figura 36. Conexiones de Concentrador I y II. Elaboración propia.



Figura 37. Conexiones de Concentrador III y IV. Elaboración propia.



Figura 38. Conexiones de Concentrador V, VI y VII. Elaboración propia.



Figura 39. Conexiones de Concentrador VIII, IX y X. Elaboración propia.

## 4.2 Costos de Materiales

Este apartado contiene cada uno de los materiales y precios necesarios para la construcción de una red de medidores inteligentes. El precio es unitario para cada material y no incluye zonificación

### 4.2.1 Materiales para instalación de tendido de fibra óptica

**Tabla 14**

*Materiales para instalación tendido fibra óptica aéreo*

Descripción	Um	Cantidad	Precio unitario
Poste de hierro 8/120(mts/kn)	Und	20	\$183.00
Retenida de angular	Und	5	\$36.56
Herraje de brazo para poste	Und	20	\$8.22
Retenida de brazo	Und	10	\$36.56
Soporte reserva cable fibra óptica en poste	Und	20	\$2.69
Polo a tierra	M	20 m	\$7.98
Cable fibra óptica adss para exterior (24 hilos)	M	2,200 m	\$1.15
Caja empalme fosc 400 a8	Und	10 unidades	\$109.20
Coraza de ¾ pp para protección cable FO	M	20	\$0.43
Varilla de retenida	Und	5	\$8.22
Impuesto de alcaldías		Gestiona contratista	
Permisos mti/alcaldías		Gestiona contratista	
Planos y diseño del enlace		Realizado por Larry Zúniga	

Nota: Elaboración propia.

#### 4.2.2 Materiales para instalación de Rack en central Disnorte Dissur para equipos de datos y energía

En la tabla 15 se detallan los materiales para la construcción de un Rack tanto para equipos de datos y energía.

**Tabla 15**

*Materiales para instalación de RACK*

Instalación Rack	Cantidad	Unidad Medida	Precio Unitario
Open rack de hierro 19"	1	Und	\$200.00
Breakers de 5 amperios	10	Und	\$14.10
Panel de distribución	1	Und	\$340.0
Cable thhn # 8 verde	5	M	\$1.12
Barra de cobre de 1" 20 posiciones	1	Und	\$145.00
Pararrayo tipo franklin 5 / 8 x 8	1	Und	\$30.17
Odf de 24 puertos para rack de 19"	1	Und	\$230.00
Finisar ftl410q qsfp optical transceiver modulo.	2	Und	\$134.00
Switch cisco rv320-k9-g5 + router wifi (usb 2.0, 100 mbit/s), negro	1	Und	\$375,10
Pc nodo maestro dell intel core i7 6500u 2.5ghz	1	Und	\$824.99
Patch cord de fibra macho sc/upc - macho sc/upc 2m.	20	Und	\$12.00
Bandeja p/empalme cie fosc 400-a	1	Und	\$15.85

Nota: Elaboración propia.

#### 4.2.3 Materiales para instalación de concentradores y medidores inteligentes

Cada material descrito en este apartado incluye todo el kit de equipos los cuales son proporcionados por los proveedores.

En la tabla 16 se detallan los materiales de construcción necesarios para instalación de concentradores y medidores.

**Tabla 16**

*Materiales para instalación de concentradores y medidores*

Descripción	Um	Cantidad	Precio unitario
Concentrador circutor sge-plc1000	Und	10	\$1,658.75
Modem sge-3g/gprs	Und	10	\$197.30
Armario cmbt compact pt para exteriores	Und	10	\$466.02
Conversor. Usb – rs485	Und	10	\$139.32
Medidor cirwatt b 200 rcp	Und	50	\$136.73
Abrazadera circular de 2 secciones 60 mm	Und	50	\$ 7.56
Cable eléctrico 3x14 awg forrado para intemperie. (acometidas nuevas para cada cliente)	Mts	2,500	\$1.10
Protector para conector r	Und	100	\$0.09
Block de aterrizaje g-g2b2 holland	Und	50	\$0.63

Nota: Elaboración propia.

### 4.3 Costos de Servicios

Este apartado contiene cada uno de los servicios y precios necesarios para la construcción de una red de medidores inteligentes. El precio es por obra instalada y no incluyen zonificación.

#### 4.3.1 Servicios para instalación de tendido de fibra óptica

**Tabla 17**

*Servicios de instalación tendido fibra óptica aérea*

Descripción	Um	Cantidad	Precio unitario
Instalación poste metal 8/120(mts/kn)	Und	20	\$27.92
Instalación retenida de angular	Und	5	\$0.21
Instalación herraje de brazo para poste	Und	20	\$0.21
Instalación retenida de brazo	Und	10	\$2.16
Acomodo res. Fo poste 24 fibras adss	Mts	200	\$2.15
Instalación polo a tierra	Mts	20 m	\$0.21
Instalación cable 24 fo aéreo adss	Mts	2,200 m	\$0.83
Instalación mufa <36 fo recto fosc 400a8	Und	10	\$11.87
Coraza de ¾pp para protección cable F.O	Mts	20	\$0.21
Varilla de retenida	Und	5	\$8.22

Nota: Elaboración propia

#### 4.3.2 Servicios para instalación de Rack en central Disnorte Dissur para equipos de datos y energía

**Tabla 18**

*Servicios para instalación de RACK*

Instalación Rack	Cantidad	Unidad Medida	Precio Unitario
Instalación rack de 19 pulg. X 7 pies	1	Und	\$16.51
Instalación breakers de 5 amperios	10	Und	\$0.62
Instalación de panel de distribución	1	Und	\$5.01
Instalación cable thhn # 8 verde	5	Mts	\$0.12
Instalación barra de cobre de 1" 20 posiciones	1	Und	\$0.21
Instalación pararrayo tipo franklin 5 / 8 x 8	1	Und	\$0.21
Instalación odf de 24 puertos	1	Und	\$5.85
Instalación finisar ftl410q qsfp optical transceiver mod.	2	Und	\$1.15
Installation switch cisco rv320-k9-g5 + router wifi (usb 2.0, 100 mbit/s), negro	1	Und	\$5.00
Instalación pc nodo maestro dell intel core i7 6500u 2.5ghz	1	Und	\$5.00
Instalación patch cord de fibra macho sc/upc - macho sc/upc 2m.	20	Und	\$1.15
Instalación bandeja p/empalme cie fosc 400-a	1	Und	\$5.00

Nota: Elaboración propia.



#### 4.3.3 Servicios para instalación de concentradores y medidores inteligentes

Cada material descrito en este apartado incluye todo el kit de equipos necesarios para cada material.

**Tabla 19**

*Servicios de instalación Concentradores y Medidores*

Descripción	Um	Cantidad	Precio unitario
Concentrador circutor sge-plc1000	Und	10	\$1,658.75
Modem sge-3g/gprs	Und	10	\$197.30
Instalación de armario cmbt compact pt para exteriores	Und	10	\$50.28
Conversor. Usb – rs485	Und	10	\$139.32
Medidor cirwatt b 200 rcp	Und	50	\$136.73
Abrazadera circular de 2 secciones 60 mm	Und	50	\$ 7.56
Cable electrico 3x14 awg forrado para intemperie. (acometidas nuevas para cada cliente)	Mts	2,500	\$1.10
Protector para conector r	Und	100	\$0.09
Block de aterrizaje g-g2b2 holland	Und	100	\$0.63

Nota: Elaboración propia.

#### 4.4 Costos totales

En la tabla 20 se define el costo total aproximado para este proyecto piloto a pequeña escala es:

**Tabla 20**

*Costo Total de Materiales y Servicios*

Item	Monto en Dolares
Costo de Materiales	\$45690.51
Costo de Servicios	\$33577.34
Total:	\$79267.85

Nota: Elaboración propia.

## Conclusiones

Se logró Determinar la eficiencia técnica y económica que ofrecen medidores inteligentes ya que según sus características energéticas actúan como contadores de energía activa y reactiva, según sus características operativas actúan como dispositivos de tipo programable que permiten la telegestión por lo cual contemplan comunicaciones bidireccionales con el servidor de datos permitiendo a partir de estas tecnologías las medidas de tiempo de utilización.

Se logró Seleccionar un medidor inteligente más eficiente para el sector comercial gracias a sus nuevas funciones que permiten un mejor sistema de alimentación, procesador de cálculos autónomos, procesador de comunicaciones así mismo actúa como un dispositivo de accionamiento y control. Seleccione el CIRWATT B 200 RCP debido a su bajo costo y cumple la normativa europea actual EN-50470-1 y EN-50470-3 hecho que aprueba la instalación de estos medidores en cualquier país del mundo.

Se logró diseñar la infraestructura y arquitectura de la red así como los equipos o medios de transmisión por la cual llevan a cabo su funcionamiento Iniciando desde el Sistema Central de Gestión de datos MDM interconectado por medio de Fibra óptica cada uno de los Concentradores de Datos **PLC 1000-M** siendo este el elemento principal de los sistemas de medición inteligente con protocolo PRIME se instala en el centro de transformación disponiendo de un puerto de comunicaciones Ethernet, también dispone de un puerto RS485, destinado a comunicaciones serie con otros dispositivos.

Consta con un dispositivo asociado **Modem Router SGE-3G/GPRS** permite conectar una aplicación de forma local o redes, a Internet a través de conexiones IP, puede conectarse a redes UMTS en aquellos casos en los que el lugar en el que se instale disponga de esta tecnología, en caso contrario se

conectará vía GPRS. Finalmente, la infraestructura termina en todos los dispositivos asociados a la red como lo es en el medidor **CIRWATT B 200 RCP**

Se logró hacer un análisis de la forma en que la infraestructura de medición avanzada (AMI) analice la calidad de la electricidad. El medidor inteligente junto a la infraestructura de telegestión planteada son las piezas fundamentales de una red inteligente ya que en combinación garantizan una mayor rapidez, eficiencia, sencillez y facilidad de relación entre la empresa eléctrica y los clientes. Esto permitirá a los comerciantes de la ciudad de Estelí tener un mejor conocimiento sobre cuánto y cómo están consumiendo su energía eléctrica

Se desarrolló un análisis funcional de como los medidores inteligentes (AMI) pueden detectar y reportar a la empresa distribuidora, pérdidas técnicas, robos energéticos, usabilidad de la red eléctrica y realizar lecturas, cortes y reconexiones desde una conexión remota de un ordenador. Gracias a la Telegestión la empresa Disnorte Dissur podrá leer a distancias los medidores inteligentes también podrá localizar en instante el punto exacto en la red de cualquier problema de suministro.

Por otra parte, los comerciantes de la ciudad de Estelí podrán tener información puntual de su consumo eléctrico mediante la web del servidor y/o por medio de una aplicación móvil, realizar trámites en su contrato tales como modificar la potencia contratada, regulación oportuna, tarifas flexibles. Dichos argumentos conllevan a una mejor eficiencia y ahorro para cada uno de los clientes.

## Referencias Bibliográficas

Corriente Alterna (2000). Tecnología de medición corriente y energía.

Recuperado en: <http://www.dicomat.com/wp-content/uploads/2015/04/Medicion-espa%C3%B1ol.pdf>

Red Eléctrica Inteligente (s.f.). En Endesa. Recuperado en 2016 de [http://www.endesaeduca.com/Endesa\\_educa/recursos-interactivos/smart-city/smart-grid](http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/smart-city/smart-grid)

Observatorio Industrial del Sector de la Electrónica, Tecnologías de la Información y Telecomunicaciones. (2011). Smart Grids Y La Evolución De La Red Eléctrica, pp 84-92

Vásquez V, 2014. Tecnologías de la Información y Telecomunicaciones 2011. Smart Grid. pp 72 – 88

SmartGrid.gov (2015). Recuperado en: <https://www.smartgrid.gov/>

DISNORTE-DISSUR automatiza sus redes de distribución eléctrica (2017). Recuperado de <http://www.disnorte-dissur.com.ni/sala-prensa/item/217-disnorte-dissur-automatiza-sus-redes-de-distribucion-electrica.html>

Smart Grids: European Technology Platform (2017). Recuperado de: [https://www.earpa.eu/earpa/39/etp\\_smartgrids.html](https://www.earpa.eu/earpa/39/etp_smartgrids.html)

Smart Grid y Evolución de las redes eléctricas (2016). Tecnologías de la información y telecomunicaciones, pp 50 -58.

Cordón C, (2014). Redes de Comunicaciones para smart grid. Universidad Pontificia Comillas, Madrid, pp 15 -20.

Wang J, Leung V, (2011). A Survey of Technical Requirements and Consumer Application Standards for IP-based Smart Grid AMI Network, in Int. Conf. Information Networking (ICOIN), pp. 114–119.

H. Sui, H. Wang, M. Lu, and W. Lee, (2009). An AMI System for the Deregulated Electricity Markets, IEEE Trans. on Industry Applications, vol. 45, no. 6, pp. 2104–2108.

J. B. Peñuelas, J. B. Casado, M. R. García, (2007). PLC, Power Line Communications, pp 318 – 325.

Ahmadzadeh A, Henríquez E, (2015). ABC sobre contadores inteligentes, pp 77-82.

Software de un sistema central. Recuperado de  
<http://www.inhemeter.com/html/sp/index.php?ac=article&at=read&did=1252>

Gandia C, (2015). Características principales de la fibra óptica. Recuperado de:  
<http://tecnologiaparapymes.es/caracteristicas-fibra-optica/>

Circutor, S.A. (s.f.). SGE-PLC1000 M. Recuperado de: <http://www.circutor.es>

Inhemeter. (s.f.). Software de un sistema central. Recuperado de  
<http://www.inhemeter.com/html/sp/index.php?ac=article&at=read&did=1252>

Mouser Electronics, (s.f). Recuperado de  
[https://www.mouser.mx/Optoelectronics/Fiber-Optics/Fiber-Optic-Transmitters-Receiver-Transceivers/\\_/N-6qrgo](https://www.mouser.mx/Optoelectronics/Fiber-Optics/Fiber-Optic-Transmitters-Receiver-Transceivers/_/N-6qrgo)

Amazon, (s.f). Recuperado de <https://www.amazon.es/Cisco-RV320-K9-G5-Router-WiFi-negro/dp/B00G3PFTTS>

Dell Inspiron (s.f). Recuperado de <http://www.dell.com/es/p/inspiron-15-7567-laptop/pd>

Iberdola Distribucion Electrica. (2018). Fabricantes de Contadores Inteligentes a nivel mundial I [Tabla]. Recuperado de Contadores digitales homologados

Iberdola Distribucion Electrica. (2018). Fabricantes de Contadores Inteligentes a nivel mundial II [Tabla]. Recuperado de Contadores digitales homologados.

Circutor. (s,f). Características comparativas de medidores eléctricos inteligentes I [Tabla]. Recuperado de Contadores Eléctricos Inteligentes

Circutor. (s,f). Características comparativas de medidores eléctricos inteligentes I [Tabla]. Recuperado de Contadores Eléctricos Inteligentes

Constructor Eléctrico Energy Management. (2012). Características de Red Eléctrica y Smart Grid I [Tabla]. Recuperado de Redes Inteligentes Smart Grid.

Constructor Eléctrico Energy Management. (2012). Características de Red Eléctrica y Smart Grid II [Tabla]. Recuperado de Redes Inteligentes Smart Grid.

Circutor. (s,f). Características del Concentrador de datos PLC1000-M [Tabla]. Recuperado de Contadores multifunción de energía eléctrica.

Circutor. (s,f). Características I del Medidor CIRWATT B 200 RCP [Tabla]. Recuperado de Contadores multifunción de energía eléctrica.

Circutor. (s,f). Características II del Medidor CIRWATT B 200 RCP [Tabla]. Recuperado de Contadores multifunción de energía eléctrica.

Interoperabilidad entre medidores inteligentes de energía eléctrica residencial. (2015). Evolución de la medición inteligente [Gráfico]. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/276917758\\_INTEROPERABILIDAD\\_ENTRE\\_MEDIDORES\\_INTELIGENTES\\_DE\\_ENERGIA\\_ELECTRICA\\_RESIDENCIAL](https://www.researchgate.net/publication/276917758_INTEROPERABILIDAD_ENTRE_MEDIDORES_INTELIGENTES_DE_ENERGIA_ELECTRICA_RESIDENCIAL)

Redes Eléctricas. (s,f). Red Eléctrica: de la generación al usuario final [Gráfico]. Recuperado de <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/Energia62/HTML/Articulo06.htm>

Eficiencia Energética /Red Eléctrica Inteligente. (2016). Red Inteligente (Smart Grid) [Gráfico]. Recuperado de <http://www.novelec.com.bo/portafolio/red-electrica-inteligente/eficiencia-energetica.html>

Exploración de arquitecturas basadas en P2P para la distribución de televisión por suscripción (IPTV). (2003). Arquitectura tradicional cliente/servidor y asistida por pares [Gráfico]. Recuperado Valencia V (2003), Emilse L (2003), Londoño J (2003)

Maven Systems Pvt. Ltd. (2010). Tecnología, conexiones y aplicaciones en la red [Gráfico]. Recuperado de [http://www.mavensystems.com/metering\\_solution.html](http://www.mavensystems.com/metering_solution.html)

Apunte de Catedra. (s,f). Arquitectura ADE5169 [Gráfico]. Recuperado de [http://www3.fi.mdp.edu.ar/electrica/medidas2/recursos/me2\\_2018\\_apunte\\_smart\\_meter.pdf](http://www3.fi.mdp.edu.ar/electrica/medidas2/recursos/me2_2018_apunte_smart_meter.pdf)



Apunte de Catedra. (s,f). Arquitectura AS8268 (**Austriamicro-sys**) [Gráfico].  
Recuperado de  
[http://www3.fi.mdp.edu.ar/electrica/medidas2/recursos/me2\\_2018\\_apunte\\_smart\\_meter.pdf](http://www3.fi.mdp.edu.ar/electrica/medidas2/recursos/me2_2018_apunte_smart_meter.pdf)

Apunte de Catedra. (s,f). Arquitectura CS5463 (**Cirrus Logic**) [Gráfico].  
Recuperado de  
[http://www3.fi.mdp.edu.ar/electrica/medidas2/recursos/me2\\_2018\\_apunte\\_smart\\_meter.pdf](http://www3.fi.mdp.edu.ar/electrica/medidas2/recursos/me2_2018_apunte_smart_meter.pdf)

Apunte de Catedra. (s,f). Arquitectura MAXQ3183 (**MAXIM**) [Gráfico].  
Recuperado de  
[http://www3.fi.mdp.edu.ar/electrica/medidas2/recursos/me2\\_2018\\_apunte\\_smart\\_meter.pdf](http://www3.fi.mdp.edu.ar/electrica/medidas2/recursos/me2_2018_apunte_smart_meter.pdf)

Apunte de Catedra. (s,f). Arquitectura MPC3905 (**Microchip**) [Gráfico].  
Recuperado de  
[http://www3.fi.mdp.edu.ar/electrica/medidas2/recursos/me2\\_2018\\_apunte\\_smart\\_meter.pdf](http://www3.fi.mdp.edu.ar/electrica/medidas2/recursos/me2_2018_apunte_smart_meter.pdf)

Apunte de Catedra. (s,f). Arquitectura SA9904 (**Sames**) [Gráfico]. Recuperado de  
[http://www3.fi.mdp.edu.ar/electrica/medidas2/recursos/me2\\_2018\\_apunte\\_smart\\_meter.pdf](http://www3.fi.mdp.edu.ar/electrica/medidas2/recursos/me2_2018_apunte_smart_meter.pdf)

Tecnalia. (2012). Tecnologías adecuadas en cada puerto de comunicación [Gráfico]. Recuperado de <https://www.tecnalia.com/es/energia-medioambiente/noticias/tecnalia-lidera-la-certificacion-de-smart-meters.htm>

ABC Sobre contadores inteligentes. (2015). Arquitectura de contadores inteligentes [Gráfico]. Recuperado de <https://www.smartgridsinfo.es/comunicaciones/ii-congreso-sg-abc-sobre-contadores-inteligentes>

Inhemeter. (s,f). Interfaz gráfica de un sistema MDM Cliente/Servidor [Gráfico]. Recuperado de <http://www.inhemeter.com/html/sp/index.php?ac=article&at=read&did=1252>

Circutor. (s,f). Concentrador de datos PLC1000-M [Gráfico]. Recuperado de [http://circutor.com/docs/FT\\_Q1\\_PLC-1000-M-ES.pdf](http://circutor.com/docs/FT_Q1_PLC-1000-M-ES.pdf)

Circutor. (s,f). Dimensiones de Concentrador Circutor PLC1000-M [Gráfico]. Recuperado de [http://circutor.com/docs/FT\\_Q1\\_PLC-1000-M-ES.pdf](http://circutor.com/docs/FT_Q1_PLC-1000-M-ES.pdf)

Circutor. (s,f). Conexiones de Concentrador Circutor PLC1000-M [Gráfico]. Recuperado de [http://circutor.com/docs/FT\\_Q1\\_PLC-1000-M-ES.pdf](http://circutor.com/docs/FT_Q1_PLC-1000-M-ES.pdf)

Circutor. (s,f). Bornes de SGE-3G/GPRS. Derechos de autor [Gráfico]. Recuperado de <http://docs.circutor.com/docs/M179B01-01.pdf>

Circutor. (s,f). Ranura de sim card del SGE-3G/GPRS [Gráfico]. Recuperado de <http://docs.circutor.com/docs/M179B01-01.pdf>

PRIME Circutor S.A. (2016). Armario CMBT COMPACT PT para exteriores [Gráfico]. Recuperado de [http://docs.circutor.com/docs/CT\\_PRIME\\_SP.pdf](http://docs.circutor.com/docs/CT_PRIME_SP.pdf)

Circutor. (s,f). Medidor CIRWATT B 200 RCP [Gráfico]. Recuperado de [http://circutor.es/docs/FT\\_Q1\\_CIRWATT-B200RCP\\_SP.pdf](http://circutor.es/docs/FT_Q1_CIRWATT-B200RCP_SP.pdf)

Circutor. (s,f). Conexiones eléctricas internas del CIRWATT B 200 RCP [Gráfico]. Recuperado de [http://circutor.es/docs/FT\\_Q1\\_CIRWATT-B200RCP\\_SP.pdf](http://circutor.es/docs/FT_Q1_CIRWATT-B200RCP_SP.pdf)

Circutor. (s,f). Dimensiones del CIRWATT B 200 RCP en mm [Gráfico]. Recuperado de [http://circutor.es/docs/FT\\_Q1\\_CIRWATT-B200RCP\\_SP.pdf](http://circutor.es/docs/FT_Q1_CIRWATT-B200RCP_SP.pdf)

Shenzhen Golden Square Technology Corporation (Gst). (2015). Arquitectura completa de un sistema AMI [Gráfico]. Recuperado de [https://es.made-in-china.com/co\\_gst2015/product\\_Ami-System-Solution-Architecture\\_ehisgsrng.html](https://es.made-in-china.com/co_gst2015/product_Ami-System-Solution-Architecture_ehisgsrng.html)

Circutor. (s,f). Interconexión de concentrador con red de contadores mediante PLC y sistema smart [Gráfico]. Recuperado de <http://circutor.es/es/empresa/noticias/noticias/512-el-concentrador-plc-prime-circutor-y-la-clave-de-su-exito>

Visor Redalyc. (2015). Comunicación por Radio Frecuencia (3G/GPRS) [Gráfico]. Recuperado de <https://www.redalyc.org/jatsRepo/750/75054207009/index.html>